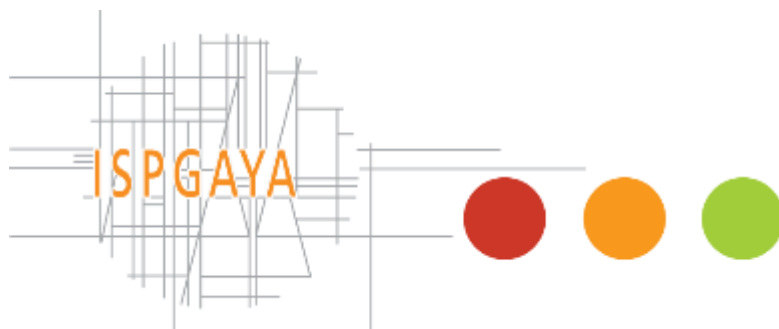


INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO GAYA



MESTRADO EM GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

**PROTEÇÕES ELÉTRICAS PARA SISTEMAS DE
ALIMENTAÇÃO CRÍTICOS, ASSEGURANDO A SEGURANÇA
DAS PESSOAS**

José Henrique Saiago Soares

Orientadores: Prof. Doutor Delmar Ferreira Jorge

Mestre Eduardo Adelino Eusébio

Dissertação apresentada no Instituto Superior Politécnico Gaya com vista a aprovação à
Unidade Curricular de Projeto do Curso de Mestrado em Gestão de Energia e Eficiência
Energética

Setembro de 2015

Resumo

Esta dissertação pretende contribuir para um esclarecimento e clarificação dos projetos e infra-estruturas elétricas providas de sistemas de alimentação ininterruptos, procurando garantir-lhes a maior disponibilidade e segurança possíveis.

Tendo por base as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, RTIEBT [1], bem como a norma da *International Electrotechnical Commission*, IEC 60364 [2], o objetivo será estudar a complexidade das instalações com sistemas socorridos e de segurança e criar ferramentas que expliquem a forma como as correntes de fuga são geradas pelo ruído eletromagnético originado pela eletrónica de potência instalada nos equipamentos elétricos da atualidade e a forma como estas afetam as proteções diferenciais obrigatórias no sistema de terras, TT, com o neutro do transformador e massas ligadas à terra destinadas à proteção de pessoas.

Será efetuado um trabalho de elaboração do estado da arte no que se refere a regimes de neutro (sistemas de terras), com recurso a artigos científicos, cadernos técnicos e legislação existente. Visando o estudo dos fenómenos relacionados com a interface das unidades de alimentação ininterruptas, UPS, e o regime de neutro adotado, serão realizados diversos casos de estudo reais.

Analisar-se-á quais as proteções adequadas para um correto funcionamento de UPS colocadas em regimes de neutro para as quais não foram originalmente concebidas.

Com base nos elementos recolhidos no caso de estudo será elaborado um conjunto de recomendações e estabelecidas conclusões sobre o trabalho realizado. As análises efetuadas servirão como base para um futuro conjunto de procedimentos *standards* destinados à elaboração de um manual de projeto para utilização no dimensionamento de futuras instalações elétricas contendo UPS.

Palavras-chave: Regimes de neutro; Proteção de pessoas; Unidades de alimentação ininterruptas; Proteções diferenciais.

Abstract

This thesis aims to contribute to a clarification and clarification of electrical projects and infrastructure provided with uninterruptible power systems, while ensuring them the highest possible availability and security.

Based on the Electrical Installation Technical Regulations Low Voltage, RTIEBT [1] and the International Electrotechnical Commission, IEC 60364 [2], the goal will be to study the complexity of installations rescued and safety systems, and create tools that explain the how the leakage currents are generated by electromagnetic noise caused by the power electronics installed in the electrical equipment of today and how they affect the differential mandatory protections in the earth system, the transformer neutral connected to the earth and mass to earth, TT , intended to protecting people.

A developed work will be made showing the state of the art regarding neutral systems (earth systems), using scientific papers, technical notes and existing legislation. Considering the study of phenomena related to the interface of uninterrupted power supply units, UPS's, and the adopted neutral regime, several real cases of study will be conducted.

Adequate protections will be analyzed for proper UPS's operation, when placed in neutral schemes for which they were not originally designed.

Based on the evidence gathered in the case study, a set of recommendations will be produced and conclusions will be set on the work done. The analyze will serve as foundation for a future set of standard procedures leading to the preparation of a project manual to use in the design of future electrical installations containing UPS's.

Keywords: Neutral systems; People protection; Uninterrupted power supply units; Differential protections

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação só foi possível graças à colaboração que diversas pessoas e instituições prestaram, ao longo destes meses, a quem quero expressar o meu maior e mais sincero agradecimento.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha esposa Cláudia por todo o apoio e suporte que me dedicou ao longo do tempo de realização deste trabalho.

Apresentar o meu agradecimento e reconhecimento ao meu orientador, Professor Doutor Delmar Ferreira Jorge, pela sua orientação, atenção, conselhos, motivação e disponibilidade fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradecer ao Mestre Eduardo Eusébio pela sua inextinguível, entrega e colaboração na elaboração da presente dissertação.

Expressar o meu agradecimento ao Mestre João Felizardo pelos seus conselhos, motivação e disponibilidade.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1 MOTIVAÇÃO.....	3
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.3 CONTRIBUTO DA DISSERTAÇÃO	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
1.5 NOTAÇÃO	5
2. REGIMES DE NEUTRO E PROTEÇÃO DE PESSOAS	7
2.1 REGIMES DE NEUTRO	7
2.1.1 REGIME TT	9
2.1.2 REGIME TN.....	10
2.1.3 REGIME IT	12
2.1.4 COMBINAÇÃO DE REGIMES DE TERRA EM BAIXA TENSÃO, BT	13
2.1.4.1 ASSOCIAÇÃO EM ANTENA DE TRÊS REGIMES DE NEUTRO.....	13
2.1.4.2 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DE TRÊS REGIMES DE NEUTRO	14
2.2 PROTEÇÃO DE PESSOAS.....	14
2.2.1 CONTRA CONTACTOS DIRETOS	15
2.2.2 CONTRA CONTACTOS INDIRETOS	15
3. SISTEMAS DE TERRAS E PROTEÇÕES.....	18
3.1 INTRODUÇÃO HISTÓRICA	18
3.2 REGRAS TÉCNICAS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	19
3.3 LIGAÇÕES DE TERRA.....	20
3.4 ELÉTRODOS DE TERRA	21
3.5 FUNÇÕES DAS REDES DE TERRAS.....	21
3.6 LIGAÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS À REDE DE TERRAS	22
3.6.1 LIGAÇÕES À TERRA E OS REGIMES DE NEUTRO.....	22
4. UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA	25
4.1 TIPOLOGIAS	25
4.2 NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL A UPS	28

4.2.1	NORMAS GERAIS	28
4.2.2	MARCAÇÃO CE	29
4.2.3	SEGURANÇA.....	29
4.2.4	AMBIENTE ELÉTRICO	30
4.2.4.1	CONTEÚDO HARMÓNICO	30
4.2.4.2	COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	32
4.2.4.3	FILTROS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	33
4.2.5	QUALIDADE	33
4.2.6	AMBIENTE E ECOLOGIA	33
4.2.7	RUÍDO ACÚSTICO.....	33
4.3	CONTEÚDO HARMÓNICO EM UPS	34
4.4	COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	34
4.4.1	PERTURBAÇÕES EM BAIXA FREQUÊNCIA	36
4.4.1.1	MODO DIFERENCIAL	36
4.4.1.2	MODO COMUM.....	37
4.4.2	PERTURBAÇÕES EM ALTA FREQUÊNCIA	37
4.4.2.1	CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	38
4.4.3	FILTROS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	39
4.5	DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS DE UPS	41
5.	ESQUEMAS DE LIGAÇÃO TÍPICOS DE UPS	44
5.1	UPS EM FUNCIONAMENTO UNITÁRIO.....	44
5.1.1	UPS DE REDES SEPARADAS (DESCONTINUADA).....	44
5.1.2	UPS DE REDES COMUNS	44
5.1.3	UPS DE REDES SEPARADAS	46
5.2	UPS FUNCIONAMENTO EM PARALELO	50
5.2.1	UPS EM PARALELO COM ALIMENTAÇÕES INDEPENDENTES.....	50
5.2.2	UPS EM PARALELO COM ALIMENTAÇÕES AO BYPASS COMUM.....	52
5.2.3	UPS EM PARALELO COM BYPASS MANUAL EXTERNO.....	53
6.	CASO DE ESTUDO	56
6.1	OBJETIVO.....	56
6.2	FERRAMENTAS.....	57

6.3	METODOLOGIA.....	60
6.4	DIAGRAMA DE LIGAÇÕES	60
6.5	MEDIÇÕES.....	61
6.6	ANÁLISE AOS RESULTADOS OBTIDOS.....	65
6.7	PROPOSTAS DE SOLUÇÃO	66
6.7.1	SOLUÇÃO 1	66
6.7.2	SOLUÇÃO 2	67
6.7.2.1	VERIFICAÇÃO/VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO 2	68
6.7.3	SOLUÇÃO 3	75
7.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	77
7.1	CONCLUSÕES GERAIS	77
7.2	CONCLUSÕES DECORRENTES DO CASO DE ESTUDO.....	78
7.3	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	79
8.	BIBLIOGRAFIA.....	80

Lista de Figuras

Figura 2-1 Esquema ligação em regime TT.	9
Figura 2-2 Esquema ligação em regime TN-S.	11
Figura 2-3 Esquema ligação em regime TN-C.	11
Figura 2-4 Esquema ligação em regime IT - primeiro defeito.	12
Figura 2-5 Esquema ligação em regime IT - segundo defeito.	13
Figura 2-6 Associação em antena de regimes de neutro, TN-S, TT e IT.	14
Figura 2-7 Associação em série de três regimes de neutro, TN-C, TN-S, TT e IT.	14
Figura 2-8 Exemplo de contacto direto.	15
Figura 2-9 Exemplo de contacto indireto, massa-solo.	16
Figura 4-1 Esquema de UPS <i>Off-Line</i>	26
Figura 4-2 Esquema de UPS <i>Line-Interactive</i>	26
Figura 4-3 Esquema de UPS <i>On-Line</i>	27
Figura 4-4 Esquema de redundância N+1.	27
Figura 4-5 Esquema de redundância 2N.	28
Figura 4-6 Condução em modo diferencial.	36
Figura 4-7 Condução em modo comum.	37
Figura 4-8 Filtro de compatibilidade eletromagnética.	40
Figura 4-9 Ruído CEM.	40
Figura 4-10 Esquema de filtro de entrada para UPS monofásica.	41
Figura 4-11 Esquema de filtro de entrada para UPS trifásica.	41
Figura 4-12 Relação custo e disponibilidade com arquiteturas de UPS.	42
Figura 5-1 Esquema multifilar de UPS com redes separadas.	44
Figura 5-2 UPS de redes comuns.	45
Figura 5-3 UPS de redes separadas com transformador.	47
Figura 5-4 Diagrama multifilar UPS de redes separadas.	48
Figura 5-5 Esquema de ligação de UPS sem proteção diferencial.	49
Figura 5-6 Esquema de ligação de UPS com proteção diferencial.	49

Figura 5-7 UPS redes separadas com transformador.	50
Figura 5-8 Esquema de ligação de UPS em paralelo com alimentações independentes.	51
Figura 5-9 Esquema de ligação de UPS em paralelo com alimentações independentes e transformador na entrada.	52
Figura 5-10 Esquema de ligações com duas UPS em paralelo com alimentações <i>bypass</i> comum.	53
Figura 5-11 Esquema de ligações de UPS em paralelo com <i>bypass</i> manual externo.....	54
Figura 6-1 Unidades de alimentação ininterruptas, UPS1 e 2 de 300 kVA.	56
Figura 6-2 UPS1 medições com osciloscópio <i>Tretoniks</i>	57
Figura 6-3 Pinça amperimétrica aplicada na terra da UPS1.....	58
Figura 6-4 <i>Fluke</i> 435 aplicado na entrada da UPS1.	58
Figura 6-5 Vista frontal do quadro de <i>bypass</i> externo.	59
Figura 6-6 Dispositivo diferencial do tipo Vigirex UPS1 (desligado).	59
Figura 6-7 Esquema das UPS em paralelo com alimentação e <i>bypass</i> externo.....	60
Figura 6-8 Corrente RMS de fuga no condutor terra da UPS1.	61
Figura 6-9 Forma de onda da corrente na entrada da UPS1.....	62
Figura 6-10 THDi na entrada da UPS1.	62
Figura 6-11 THDv na entrada da UPS1.	63
Figura 6-12 Fator de potência na entrada da UPS1.....	64
Figura 6-13 Intensidade de corrente no condutor de proteção nas frequências de 5 e 10 kHz.....	64
Figura 6-14 Diagrama proposto, quadro montante UPS e <i>bypass</i>	67
Figura 6-15 Distribuição de energia entre quadros da instalação.....	69
Figura 6-16 Disparador do disjuntor de cada retificador.....	69

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 Tipos de ligação à terra, identificação de letras	8
Tabela 4-1 Níveis máximos de tensão de acordo com a norma EN 50160	31
Tabela 4-2 Níveis máximos de tensão de acordo com as normas IEC 61000-2-2 e EN 61000-2-2	31
Tabela 4-3 Classificação em classes em função da qualidade de tensão de acordo com as normas	32
Tabela 6-1 Corrente RMS de fuga no retificador UPS1	61
Tabela 6-2 Corrente RMS de fuga no <i>bypass</i> externo	63
Tabela 6-3 Tabela 41A da parte 4 das RTIEBT- tempos de corte para $U_L = 50 V$	70
Tabela 6-4 Impedância dos condutores do circuito em defeito	72
Tabela 6-5 Resistividade dos condutores na proteção de pessoas $R(70^\circ)$	73
Tabela 6-6 Impedância dos condutores na malha de defeito	73
Tabela 6-7 Queda de tensão por troços da instalação	73
Tabela 6-8 Regulações dos dispositivos de proteção instalados nos quadros eléctricos	74
Tabela 6-9 Cálculo dos comprimentos máximos para os condutores instalados	74
Tabela 6-10 Variação do comprimento máximo protegido das canalizações entre $6 I_r$ e $10 I_r$	75

Acrónimos e abreviaturas

AF	Alta Frequência
AGM	<i>Absorbent Glass Mat</i>
AT	Alta Tensão
BF	Baixa Frequência
BT	Baixa Tensão
C	Comando
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE	<i>Conformité Européene</i>
CEM	Compatibilidade Eletromagnética
CENELEC	Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica
CISPR	<i>International Special Committee on Radio Interference</i>
CPI	Controlador de Isolamento Permanente
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
E	Campo Elétrico
ECO	Ecológico
EES	Equipamentos Eletrónicos Sensíveis
EN	<i>European Normalisation</i>
ETI	Equipamentos de Tecnologia da Informação
EUA	Estados Unidos da América
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
H	Campo Magnético
I	Isolado
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Regime de Neutro IT
MT	Média Tensão
N	Neutro
PE	Condutor Proteção
PEN	Condutor Proteção e Neutro
PFC	<i>Power Factor Correction</i>

QE	Quadro de Entrada
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
S	Separado
T	Terra
TC	<i>Technical Committee</i>
THDi	Taxa de Distorção Harmónica em Corrente
THDv	Taxa de Distorção Harmónica em Tensão
TN	Regime de Neutro TN
TPT	Terminal Principal de Terra
TRS	Tensão Reduzida de Segurança
TT	Regime de Neutro TT
UPS	Unidades de Alimentação Ininterruptas
VEI	Vocabulário Eletrotécnico Internacional
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>

Simbologia

A/m	Ampére por metro
GHz	Giga Hertz
Hz	Hertz
I_a	Intensidade de corrente de defeito
I_{cc}	Intensidade de corrente de curto-circuito
I_{fuga}	Intensidade de corrente de fuga
I_{hn}	Intensidade de corrente da harmónica de ordem n
I_n	Intensidade de corrente nominal
I_{pico}	Intensidade de corrente de pico
I_r	Intensidade de regulação magnética do aparelho de proteção
I_{rms}	Valor eficaz da intensidade de corrente
kHz	kilo Hertz
kVA	kilo Volt Ampére
kW	kilo Watt
L	Comprimento do condutor
L_{max}	Comprimento máximo de canalização protegido
mA	mili Ampére
MHz	Mega Hertz
mm^2	milímetros quadrados
ms	mili segundo
mW	mili Watt
n	Número de ordem de harmónica
R_A	Resistência do eléctrodo de terra e condutores de proteção
R_f	Resistência do condutor de fase
R_{PE}	Resistência do condutor de proteção
s	Segundo
sf	Secção do condutor de fase
t	Tempo
U_c	Tensão de contacto
U_e	Potencial de terra
U_L	Tensão limite de segurança
V	Volt

V/m	Volt por metro
Z_s	Impedância equivalente do condutor de fase e proteção
$\mu H/m$	micro Henry por metro
ρ	Resistividade dos condutores de cobre à temperatura normal de funcionamento
Ω	Ohm

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os objetivos principais da dissertação e é feito um breve enquadramento do tema e a motivação encontrada na escolha do tema. Por fim, é apresentada a estrutura da dissertação para ajudar na compreensão do trabalho desenvolvido.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade encontram-se instalações onde uma perturbação da qualidade de energia pode resultar em perdas de milhões de euros, por exemplo, em infra-estruturas críticas, como centros de dados, indústrias, hospitais onde a paragem e danos em equipamentos são uma das maiores preocupações. Parte destas perturbações têm origem em perdas de disponibilidade do sistema provocadas pela má qualidade da energia disponível [3] e [4].

Os custos com a paragem de processos vão desde a perda de informação, paragem de departamentos, linhas de montagem ou até da própria empresa. Se a estes custos acrescer a energia gasta com a produção e/ou reparação de componentes e, ainda, os custos de arranque de sistemas, todos os aspetos anteriormente referidos configuram variáveis a ter em conta no que diz respeito à competitividade das empresas e até da própria economia [3] e [4].

Para colmatar este género de problemas é frequente o recurso à aplicação de unidades de alimentação ininterruptas, UPS. Estes equipamentos apresentam duas grandes vertentes em termos tecnológicos: estáticas e dinâmicas. Neste estudo serão objeto de análise as UPS estáticas, constituídas por um conversor de corrente alternada/corrente contínua, ca/cc, com as baterias em paralelo e outro conversor cc/ca. As UPS estáticas podem ser agrupadas em paralelo e/ou cascata, garantindo redundância no fornecimento de energia e, logo maior disponibilidade de energia [5].

Atualmente os sistemas de UPS, nomeadamente os trifásicos, são fabricados de uma forma geral para serem colocados em instalações elétricas projetadas em regime de neutro TN. A maioria das instalações em Portugal está projetada e a funcionar em regime de neutro TT, ou seja, neutro do transformador e massas, ambos ligados à terra. Para a colocação de UPS nas condições referidas resultam na necessidade de cuidados a observar e a implementar. No caso das UPS as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, RTIEBT [1], já consideram algumas precauções para este tipo de equipamentos específicos, (veja-se a título de exemplo a secção 7, ponto 707).

No entanto, verifica-se que a maioria dos fabricantes de equipamentos não disponibilizam nem esta informação nem as possíveis adaptações para estes equipamentos funcionarem noutros sistemas de terras. Mesmo o fornecimento de elementos para o dimensionamento da instalação, no que respeita à proteção das pessoas, não é suficientemente esclarecedor, remetendo a normas de interpretação por vezes complexas e pouco práticas.

Sendo estes sistemas constituídos por eletrónica de potência, coloca-se outro problema: a eletrónica de potência gera ruídos elétricos radiados e conduzidos que têm de ser mitigados com a

aplicação de “gaiolas de Faraday” e de filtros devidamente ligados à terra de proteção, e de valor adequado, de modo a serem imunes e não interferirem com os outros equipamentos da instalação, cumprindo as normas aplicáveis.

1.1 MOTIVAÇÃO

O facto de ter começado o meu percurso profissional na *Merlin Gerin* em 1989, e de ter contactado com ferramentas nos sistemas socorridos e com a qualidade de energia, desenvolvi um gosto por estas temáticas que me impulsionaram ao estudo, compreensão e transmissão da informação, no meu entendimento, considerada mais relevante aos colegas, técnicos de projeto, de manutenção e de exploração.

No desempenho da atividade profissional, nesta área do conhecimento, tenho constatado que parte da normalização em vigor não está a ser cumprida e devidamente fiscalizada, pretendendo-se com o presente documento fornecer um contributo válido para obviar a esse tipo de situações.

Desde a tecnologia da transformação da onda sinusoidal em contínua por transístores nas UPS a compatibilidade destes equipamentos com os sistemas de terras é um dado importante a ter em consideração.

No decorrer das minhas funções profissionais, nas auditorias realizadas a instalações elétricas, tenho observado que em regime de neutro TT, com as UPS preparadas para funcionarem em regime de neutro, TN-S, as proteções não estão garantidas.

Este trabalho visa um objetivo académico, mas também pretende ser um documento que sirva de base para ajudar a comunidade eletrotécnica a lidar com esta tecnologia e, simultaneamente, garantir a proteção das pessoas.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta dissertação procura comprovar que, apesar das diferentes arquiteturas possíveis de ligação de UPS, ou seja, com fontes ininterruptas a funcionar em modo unitário ou paralelo de forma a garantir maior disponibilidade na instalação e em diferentes sistemas de neutro, é possível assegurar em cada configuração da instalação a correta e adequada proteção das pessoas, cumprindo as normas legais aplicáveis em vigor, sem comprometer um elevado grau de disponibilidade da instalação elétrica.

É objetivo da presente dissertação analisar este género de instalações elétricas especiais e de elevada importância, para que o seu projeto e exploração sejam simplificados para os diversos intervenientes. Deste modo, propõe-se como metodologia de estudo no presente documento estudar e/ou realizar:

- Enquadramento e abordagem às normas legais aplicáveis a este tipo de sistemas;
- Abordagem aos regimes de neutro adotados em instalações elétricas, nas quais se inserem os sistemas de alimentação ininterruptos;
- Apresentação de metodologias que permitam facilitar a elaboração do projeto e exploração das instalações elétricas, providas de sistemas de alimentação ininterruptos;
- Dimensionamento das instalações, nomeadamente, canalizações e proteções para sistemas de alimentação ininterruptos unitários e em paralelo;
- Apresentação de ensaios e medições das correntes de fuga geradas pelos filtros de compatibilidade eletromagnética, CEM, em vários tipos de ligação de UPS, em particular, em paralelo, com a exposição de um caso de estudo real.

1.3 CONTRIBUTO DA DISSERTAÇÃO

O principal contributo desta dissertação é possibilitar uma análise à forma correta de inserção de UPS em instalações elétricas de acordo com regime de neutro adotado. Estabelecer recomendações de forma a permitir a correta seleção do sistema de proteções consoante o tipo de regime de neutro das instalações onde as UPS são inseridas, garantindo em simultâneo a proteção de pessoas e bens.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. No primeiro capítulo é realizada uma pequena introdução ao tema em estudo, apresentada a motivação que deu origem à escolha do tema. Seguidamente, são apresentados os principais objetivos e é realizada uma breve descrição do conteúdo de cada capítulo, terminando com a apresentação da notação utilizada no decorrer da dissertação, para que seja possível uma correta leitura e compreensão.

No segundo capítulo é efetuada uma abordagem aos diferentes regimes de neutros existentes e abordado o tema da proteção de pessoas.

O terceiro capítulo é dedicado aos sistemas de ligação à terra, bem como às proteções adequadas a cada tipo de ligação à terra.

O quarto capítulo apresenta-nos as tipologias de unidades de alimentação ininterruptas e as normas a que o fabrico e instalação das mesmas devem respeitar. Aborda, ainda, o conteúdo harmónico provocado pelas UPS e a sua compatibilidade eletromagnética com as instalações elétricas onde estão inseridas.

No quinto capítulo é apresentada a configuração de UPS em funcionamento unitário e em paralelo, sendo apresentados os esquemas de ligação mais frequentemente utilizados.

No capítulo seguinte é descrito o caso de estudo realizado e analisada a configuração do sistema de UPS. É, igualmente, descrito o tipo de proteção adequado consoante o regime de neutro em que se inserem. Face aos problemas verificados são propostas possíveis soluções.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as principais conclusões e indicadas possibilidades de desenvolvimento e perspetivas de trabalhos futuros dando, de alguma forma, possibilidade de continuidade a este estudo.

1.5 NOTAÇÃO

As referências bibliográficas são apresentadas entre parêntesis retos [], e as expressões são apresentadas com parêntesis curvos (). As siglas ou as expressões em língua estrangeira são apresentadas em itálico. As figuras, tabelas e as expressões matemáticas são numeradas de forma sequencial no respetivo capítulo, composto por dois algarismos, sendo que o primeiro algarismo se refere ao capítulo em que se encontram inseridas e o segundo algarismo indica a ordem sequencial.

As tabelas em anexo são numeradas sequencialmente, apresentando uma letra referente ao anexo em que se encontra.

Os acrónimos, as abreviaturas e os símbolos utilizados ao longo do texto são apresentados previamente no índice de acrónimos e abreviaturas e simbologia.

As referências bibliográficas estão indicadas de acordo com a norma do *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE2006, revisão de 2010.

Capítulo 2

REGIMES DE NEUTRO E PROTEÇÃO DE PESSOAS

Neste capítulo são abordados os diferentes regimes de neutro existentes e a sua interação com a proteção de pessoas no que se refere a contactos diretos e indiretos.

2. REGIMES DE NEUTRO E PROTEÇÃO DE PESSOAS

A eletricidade não é perigosa se utilizada corretamente e se o equipamento utilizado nos sistemas elétricos for projetado, executado, operado e mantido adequadamente de acordo com o regime de neutro adotado.

2.1 REGIMES DE NEUTRO

De acordo com a norma internacional IEC 60364 [2] a posição do neutro e das massas determina o regime de neutro de uma instalação de baixa tensão. O regime de neutro é conhecido pela utilização de uma sigla composta por duas a três letras. A primeira letra indica a posição do neutro do transformador em relação à terra:

- T, Terra - ligação à terra (terra de serviço) num ponto do sistema elétrico (normalmente o centro da estrela de um transformador de média tensão/baixa tensão, MT/BT em Δ/Y);
- I, Isolado - sistema com neutro isolado da terra ou impeditivo (ligado à terra com impedância de elevado valor).

A segunda letra indica a posição relativa das massas dos aparelhos ligados à instalação:

- T, Terra - ligação das massas dos aparelhos de utilização à terra (terra de proteção);
- N, Neutro - ligação das massas dos aparelhos de utilização ao neutro do transformador.

A terceira letra é aplicada ao sistema TN, que possui diversos subesquemas, e indica como estão ligados o condutor neutro, N, e o condutor de proteção elétrica, PE:

- C, Combinado - neutro e proteção elétrica num só condutor, PEN;
- S, Separado - neutro e proteção elétrica em condutores distintos.

A conjugação das letras fornece, deste modo, e de acordo com IEC 60364 [2], três esquemas normalizados: TT, TN, IT. O esquema TN apresenta ainda diversos subesquemas que são vulgarmente designados por: TN-C, TN-S e TN-C-S.

A conjugação e coexistência de TN-C e TN-S na mesma instalação é possível e usual, mas apenas é permitida a instalação do sistema TN-S a jusante do sistema TN-C.

Para uma mais fácil compreensão, é possível visualizar na Tabela 2-1 o significado de cada uma das letras que compõem a designação de cada um dos tipos de regime de neutro.

Tabela 2-1 Tipos de ligação à terra, identificação de letras

1ª Letra	T	Ligado diretamente à terra principal num determinado ponto do sistema de energia, geralmente no transformador
	I	O sistema de alimentação é isolado da terra ou ligado à terra através de uma impedância elevada suficiente (I = isolada)
2ª Letra	T	As partes condutoras expostas são ligadas diretamente à terra, por exemplo, o <i>chassis</i> da UPS, ignorando se o sistema de alimentação está ligado à terra ou não
	N	As partes condutoras expostas, por exemplo, o <i>chassis</i> da UPS, são ligadas diretamente à terra no ponto de terra principal
3ª Letra	S	O condutor de proteção, PE e o condutor neutro, N são dois condutores diferentes e separados (S = separado)
	C	O condutor de proteção, PE e o condutor neutro, N é um condutor comum. (PEN) (C = comum)

Para uma dada rede o regime de neutro desempenha um papel muito importante. Após um defeito de isolamento ou um contacto accidental entre uma fase e a terra, o valor tomado pela corrente de defeito, as tensões de contacto e as sobretensões estão diretamente ligados ao regime de neutro implementado.

O principal objetivo da ligação à terra é:

- Facilitar a deteção do defeito e a sua posterior eliminação;
- Limitar fortemente as sobretensões transitórias;
- Respeitar os regulamentos relativamente à segurança de pessoas.

A ligação à terra gera no entanto correntes de defeito importantes.

O neutro isolado, por sua vez, limita as correntes de defeito, mas favorece o aparecimento de sobretensões elevadas.

A garantia de continuidade de serviço após o primeiro defeito depende da escolha do regime de neutro. Para esta garantia, em baixa tensão e mesmo em alta tensão, é necessário que o neutro seja isolado. Já com o neutro à terra é necessário que a corrente de defeito seja eliminada logo após o primeiro defeito. Assim, o equipamento que esteja instalado numa rede com neutro à terra e após o defeito de isolamento, os estragos serão tanto maiores, quanto maiores forem as correntes de defeito. O mesmo equipamento instalado numa rede com neutro isolado ou fortemente

impedante, após um defeito de isolamento, os estragos serão menores, mas este equipamento deve ter um nível de isolamento para as sobretensões adequado ao tipo de rede [2].

A escolha do regime de neutro está então dependente da natureza da instalação, assim como da rede e é influenciada pela natureza dos recetores e pela necessidade de garantia de continuidade de serviço [6].

2.1.1 REGIME TT

Os regimes TT têm um ponto ligado diretamente à terra e todas as partes condutoras expostas da instalação devem ser ligadas a elétrodos de terra, sendo que estes são independentes do sistema de ligação à terra do sistema de alimentação, como se observa na Figura 2-1.

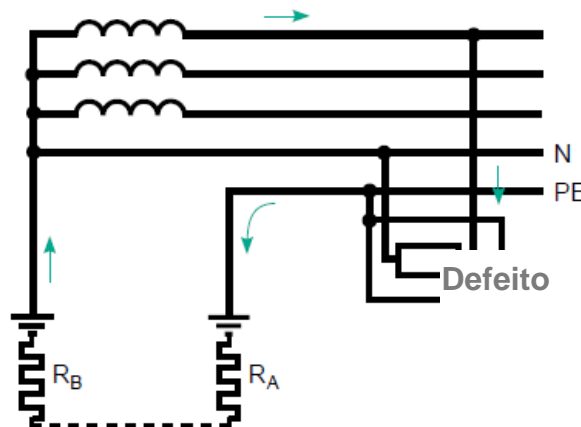


Figura 2-1 Esquema ligação em regime TT.

Existem dispositivos de proteção reconhecidos em regimes TT:

- Dispositivos de proteção contra sobreintensidades;
- Dispositivos de proteção de corrente residual.

Os dispositivos de proteção contra sobrecorrente apenas se aplicam para a proteção em caso de contacto indireto nos regimes TT quando existe um baixo valor de R_A , isto é, a condição seguinte deve ser cumprida, conforme indicado na equação 2.1:

$$R_A \cdot I_a = 50 \text{ V} \quad (2.1)$$

Onde:

- R_A é a soma da resistência do eletrodo de terra e do condutor de proteção para as massas (as partes condutoras expostas);
- I_a é a corrente que provoca o funcionamento automático do dispositivo de proteção.

Quando o dispositivo de proteção é de proteção da corrente residual, I_a é a corrente residual nominal, I_n .

Com o objetivo de diferenciar os dispositivos de proteção de corrente residual tipo S podem ser usados em série com os dispositivos de proteção residual de tipo genérico. Para assegurar a separação com os dispositivos de proteção de corrente residual tipo S não é permitido nos circuitos de distribuição um tempo de atuação superior a 1s.

O dispositivo de proteção que desempenha a função de sobreintensidade pode ser:

- Um dispositivo com características de tempo inverso e I_a deve ser a corrente que provoca o funcionamento automático num tempo limite de 5s.

Ou,

- Num dispositivo com a característica de disparo automático a intensidade de corrente I_a deve ser a corrente mínima que provoca o seu disparo instantâneo.

2.1.2 REGIME TN

Neste esquema de ligação o neutro do transformador é ligado diretamente à terra. As massas dos recetores são ligadas ao condutor de neutro. No caso de qualquer defeito fase-massa, este torna-se efetivamente um curto-circuito fase-neutro, sendo eliminado por aparelhos de proteção contra sobreintensidades. Devido ao facto de toda a segurança deste regime assentar na garantia efetiva de ligação de todas as massas ao condutor de neutro, PEN, foi necessário prever um esquema adequado às condições em que se torna provável uma desligação accidental do condutor neutro/proteção.

Podem, então, distinguir-se dois esquemas: num deles o condutor de neutro e o de proteção elétrica, PE, são o mesmo (TN-C), onde C significa combinado, no outro estes dois condutores são independentes (TN-S), onde S significa separado [7].

- Regime TN-C: os condutores de neutro e de proteção são combinados para um único condutor em todo o sistema (Figura 2-3);
- Regime TN-S: o sistema utiliza um condutor de proteção separado (Figura 2-2);
- Regime TN-CS: existe um único condutor numa parte do sistema que combina os condutores de neutro e de proteção. Os condutores de neutro e de proteção são separados em parte do sistema.

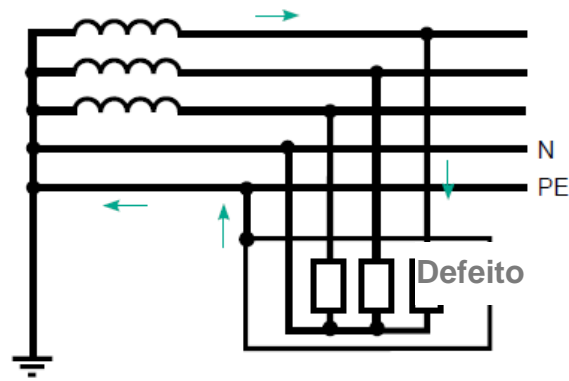


Figura 2-2 Esquema ligação em regime TN-S.

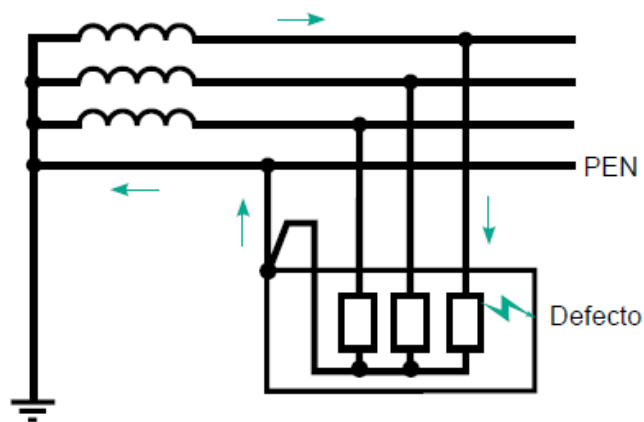


Figura 2-3 Esquema ligação em regime TN-C.

Os esquemas anteriormente apresentados TN-C e TN-S podem ser agrupados numa mesma instalação TN-C-S, contudo um esquema TN-C (4 condutores) nunca pode estar a jusante de um esquema TN-S (5 condutores). No esquema TN-C a função de condutor de proteção prevalece sob a função de condutor de neutro. O condutor PEN deve sempre ligar ao borne de terra do recetor e deste existir uma ponte de ligação para o borne de neutro [2].

Na prática os dois esquemas coexistem geralmente numa mesma instalação, sendo utilizado o esquema TN-C na alimentação de quadros elétricos e o esquema TN-S nos circuitos terminais e naqueles em que existam condutores flexíveis. Os circuitos com condutores cuja secção seja inferior a 10mm^2 , se de cobre ou 16mm^2 , se de alumínio e cabos flexíveis têm sempre um condutor de proteção distinto do condutor de neutro (TN-S). Este esquema é também usado no caso em que, para a diminuição de riscos de explosão e incêndio ou mesmo quando para a proteção de um dado recetor, é necessária a instalação de aparelho diferencial [2].

2.1.3 REGIME IT

Num regime de ligação à terra IT [7], em caso de um curto-circuito ou falta à terra, o sistema pode continuar a funcionar sem interrupção. Esse evento é referenciado como uma "primeiro defeito" (Figura 2-4). Neste regime todas as partes condutoras expostas de uma instalação estão ligados através condutores PE a um elétrodo de terra da instalação e o ponto neutro do transformador de alimentação é:

- Ou isolado da terra;
- Ou ligado à terra através de uma alta resistência (comummente $1000\ \Omega$ ou mais).

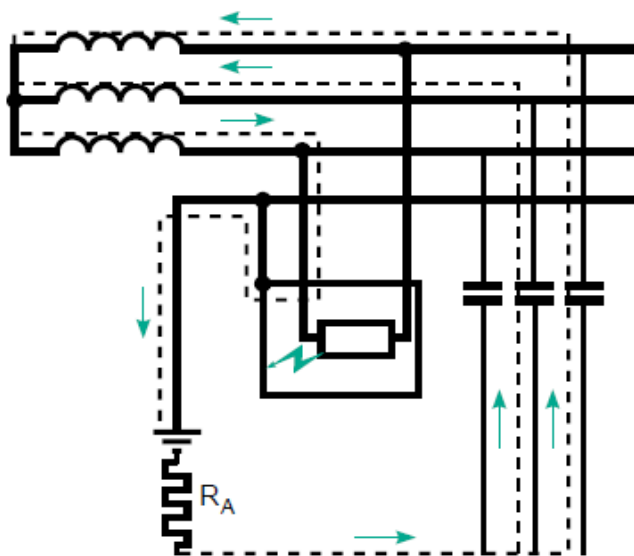


Figura 2-4 Esquema ligação em regime IT - primeiro defeito.

O sistema IT permite o funcionamento do sistema num primeiro defeito desde que a corrente através do defeito de terra não cause danos graves quando em situação de defeito, ou dê origem a tensões de contacto elevadas, ou apresente risco de incêndio para a instalação. O regime IT pode, portanto, permitir funcionar normalmente até que seja conveniente isolar a secção defeituosa para trabalhos de reparação. Com este sistema há claramente um aumento da continuidade do serviço [7]. Na prática, este regime de neutro, IT, exige certas medidas específicas para uma correta exploração:

- Acompanhamento permanente;
- Isolamento em relação à terra, que deve ser sinalizado audível ou visualmente, a ocorrência de falha do primeiro;
- Um dispositivo para limitar a tensão que o ponto neutro do transformador de alimentação pode atingir em relação à terra;

- Verificação da “primeiro defeito” por uma equipa de manutenção eficiente. A localização de defeitos é muito facilitada através de dispositivos automáticos atualmente disponíveis;
- O disparo rápido de disjuntores apropriados deve ocorrer na eventualidade de um “segundo defeito”, (caso o primeiro ainda não tenha sido detetado, (Figura 2-5) [7]. É uma falha de terra que afeta um condutor sob tensão diferente do que a do “primeiro defeito” (pode ser uma fase ou neutro). O “segundo defeito” resulta num curto-circuito através da terra e/ou por meio de PE condutores dos condutores ativos.

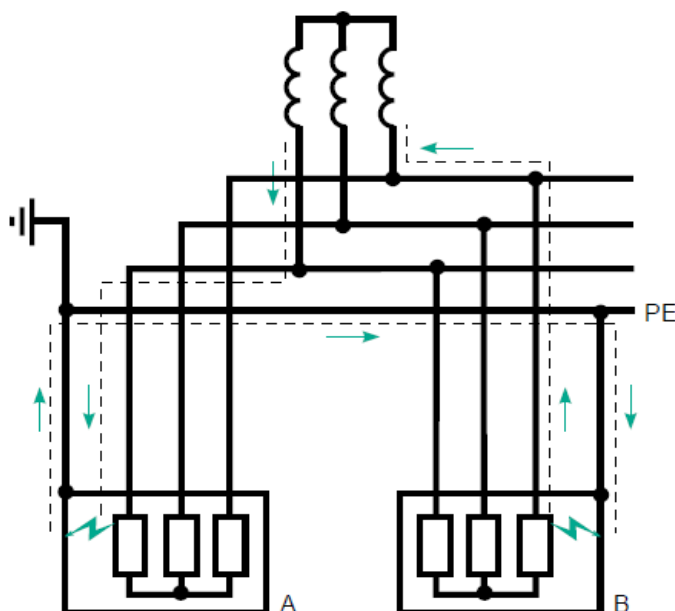


Figura 2-5 Esquema ligação em regime IT - segundo defeito.

2.1.4 COMBINAÇÃO DE REGIMES DE TERRA EM BAIXA TENSÃO, BT

Cada regime de neutro pode ser aplicado numa instalação na sua totalidade. Contudo, numa mesma instalação podem coexistir vários regimes de neutro, conforme Figura 2-6 e Figura 2-7.

2.1.4.1 ASSOCIAÇÃO EM ANTENA DE TRÊS REGIMES DE NEUTRO

Na Figura 2-6 pode-se observar a associação em antena de três regimes de neutro, TN-S na origem do sistema, subdividindo-se em TN-S, TT e IT [7].

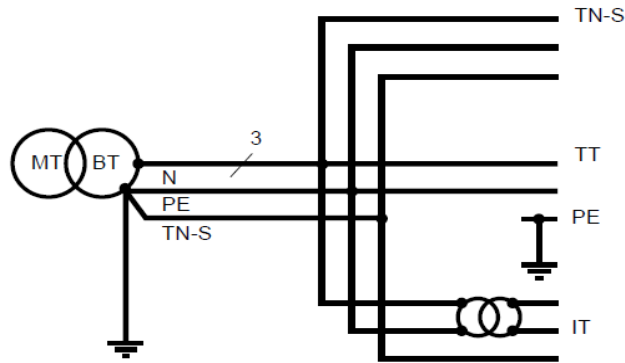


Figura 2-6 Associação em antena de regimes de neutro, TN-S, TT e IT.

2.1.4.2 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DE TRÊS REGIMES DE NEUTRO

Na Figura 2-7 observa-se associação em série de três regimes de neutro, TN-C na origem do sistema, transformando-se em TN-S, TT e IT [7].

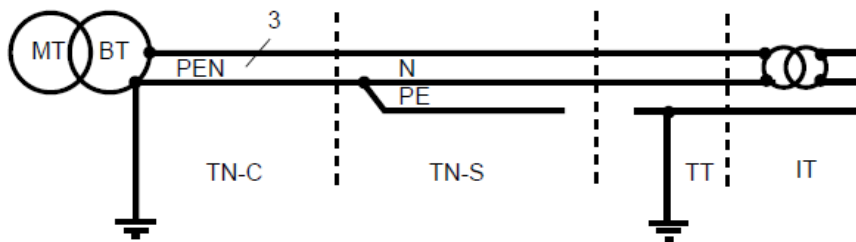


Figura 2-7 Associação em série de três regimes de neutro, TN-C, TN-S, TT e IT.

2.2 PROTEÇÃO DE PESSOAS

A impedância do corpo humano varia conforme o ambiente em que se insere (húmido, seco, molhado). A tensão de segurança, U_L , em sistemas de corrente alterna que deve ser salvaguardada para cada um dos casos é: $U_L=50V$ para locais húmidos e secos e $U_L=25V$ para locais molhados ($U_L=12V$ para piscinas). Para locais húmidos e secos o tempo máximo de corte do dispositivo de proteção (definido nas normas) para $U_C=50V$ é de $5s$ e, quanto maior a tensão de contacto, U_C , em relação a U_L menor terá de ser o tempo máximo de corte do dispositivo. Para locais molhados e para $U_C=25V$ o tempo máximo de corte (definido nas normas) é de $5s$ e, quanto maior o U_C em relação a U_L menor terá de ser o tempo de corte. Para $U_C \leq U_L$ a tensão U_C é suportada sem riscos em permanência ($t=\infty$). No entanto, as normas exigem que os aparelhos de proteção atuem num tempo inferior a $5s$, garantindo assim uma segurança acrescida.

2.2.1 CONTRA CONTACTOS DIRETOS

Os contactos directos são aqueles que se caracterizam através do contacto accidental (não deliberado) entre a pessoa e uma parte activa (fase ou neutro ou outro componente energizado) sendo a corrente conduzida pelo corpo da pessoa que liga a parte activa à terra (Figura 2-8). As causas desses contactos podem ser, por exemplo: a imprudência, a embriaguez, entre outras [8].

Temos como medidas passivas contra os contactos directos: o isolamento, barreiras de protecção, afastamento de partes activas, uso de tensão reduzida de segurança, TRS. Como medida activa temos o uso do dispositivo diferencial de alta sensibilidade (30mA) de acordo com secção 412 das RTIEBT [1].

Estas medidas são independentes do regime de neutro adotado, sendo necessárias em todos os regimes.

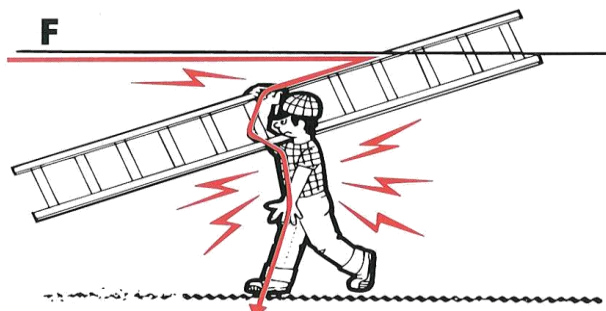


Figura 2-8 Exemplo de contacto directo.

2.2.2 CONTRA CONTACTOS INDIRETOS

Os contactos indirectos são aqueles que se caracterizam pelo contacto entre uma pessoa e a massa de um equipamento que se encontra sob tensão devido a um defeito de isolamento (Figura 2-9). Há uma corrente de defeito que circula e provoca a elevação do potencial entre a massa do equipamento e a terra. Há perigo se essa massa for tocada e se essa tensão de contacto, U_C , for superior à tensão limite, U_L . Os tipos de contactos indirectos que podem existir são: massa-massa, massa-solo ou parede não isolante e massa-elemento condutor [8].

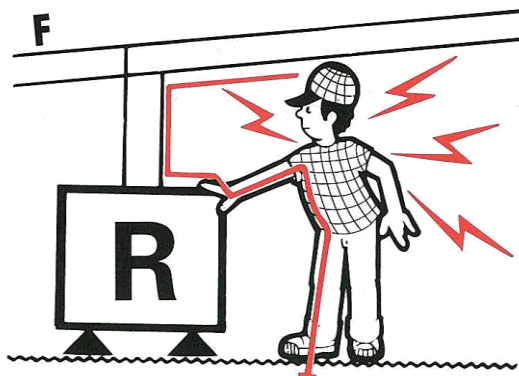


Figura 2-9 Exemplo de contacto indireto, massa-solo.

Temos como medidas passivas de proteção: o uso de materiais e equipamentos de classe II de isolamento (equipamento), o uso de tensão reduzida de segurança, TRS, proteção por separação elétrica, inacessibilidade simultânea de elementos condutores e massas, proteção por isolamento de massas e uso de ligações equipotenciais. Como medida ativa temos a proteção por corte automático de alimentação de acordo com a secção 413 das RTIEBT [1].

As medidas de proteção contra contactos indiretos baseiam-se nos seguintes princípios: conexão à terra das massas de todos os equipamentos elétricos para evitar que se dê um contacto direto em caso de defeito, equipotencializar as massas acessíveis simultaneamente e controlar o risco de defeito de isolamento através da prevenção (por exemplo, medição de isolamento antes da colocação em serviço da instalação).

Capítulo 3

SISTEMAS DE LIGAÇÃO À TERRA E PROTEÇÕES

Neste capítulo é feita uma breve abordagem histórica aos sistemas de terra, bem como à importância das RTIEBT no que concerne à regulamentação existente. São, também, analisadas as formas de execução de elétrodos de terra e seleção de proteções e forma de ligação à terra consoante o tipo de regime de neutro da instalação.

3. SISTEMAS DE TERRAS E PROTEÇÕES

Atualmente os sistemas de terra assumem uma importância vital nas instalações eléctricas. Neste sentido é da maior importância realizar redes de terras de qualidade que dêem garantias de duração a médio prazo. As redes de terras podem atualmente ser constituídas de múltiplas formas e com os mais variados materiais, dependendo de diversas condições de implementação, tais como: características estruturais, nível de corrosão do terreno, obrigações normativas, entre outros.

3.1 INTRODUÇÃO HISTÓRICA

No século XVIII a eletricidade estática gerada por fricção de corpos ou fenómenos atmosféricos já despertava, para além de curiosidade, respeito, começando a emergir como uma ciência [7].

Entre 1880 e 1920, ainda não estava generalizado o uso da energia eléctrica, o transporte e distribuição da eletricidade era realizado em regime de neutro isolado e a maioria das linhas não o possuíam, situando-se fora do alcance das pessoas e eram sustentadas por isoladores [7].

Em 1882, uma recomendação de engenheiros telegrafistas e eletricistas indica que, em habitações, se a tensão for superior a 60 *Vca* deveria ser utilizada aparelhagem de corte e condutores isolados, de forma a não haver risco de curto-circuitos [7].

Em 1923, em França, uma norma relativa a instalações eléctricas impõe a ligação das massas à terra, nomeadamente [7]:

- Carcaças móveis e fixas de motores não isolados e em instalações com uma tensão superior a 150 V;
- Eletrodomésticos fixos e portáteis de potência superior a 4 kW;
- Equipamentos de aquecimento em casas de banho;
- Peças metálicas situadas em locais com líquidos condutores e sujeitas a tensão eléctrica.

Nesta fase ainda não eram referidas as condições de ligação das terras, nem o valor adequado para resistência de terra.

Em 1927, em França, um decreto, obriga a ligar a terra ao ponto neutro dos transformadores de distribuição pública (tensão maior ou igual a 150 V) [7].

Em 1951 aparecem os primeiros controladores de isolamento permanente, CPI com injeção de corrente contínua para instalação em minas e, em 1962, os primeiros CPI de injeção de corrente alterna de baixa frequência. Surgiu, assim, o sistema de terra com neutro isolado onde o primeiro CPI que até 1955 era sinalizado por três lâmpadas (em trifásico) [7].

A norma francesa NFC 15 100, de 1962 [9] regulamenta o uso do regime de neutro isolado e à terra (medida B1), assim como a terra ao neutro (medida B2).

Na atualidade em Baixa Tensão, BT, a norma de referência é a IEC 60 364 [2] e as RTIEBT [1]. Verifica-se nestas normas uma especial atenção para a proteção das pessoas e bens. Esta preocupação conduziu a três esquemas de terra, também conhecidos por regimes de neutro (já referenciados no capítulo anterior).

3.2 REGRAS TÉCNICAS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

As Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão [1] foram aprovadas na Portaria 949-A/2006, do Ministério da Economia e da Inovação, e publicadas no Diário da República nº 175, 1ª Série, de 11 de setembro de 2006.

Para dar resposta aos objetivos deste trabalho é de extrema importância o estudo e compreensão das normas técnicas em vigor, pois são a base de qualquer projeto e instalação. Compostas por 8 partes definem as regras de instalação e de segurança das instalações elétricas (de utilização) de energia elétrica. Na sua preparação foi importante a contribuição dos documentos de harmonização do *Technical Committee* (TC 64), do Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica, CENELEC e da Comissão Eletrotécnica Internacional, IEC. Para a compreensão destes textos é essencial o recurso a alguns capítulos do Vocabulário Eletrotécnico Internacional, VEI.

O âmbito de aplicação das RTIEBT, agora publicadas, abrange as instalações elétricas de:

- Edifícios de habitação;
- Edifícios de utilização comercial;
- Estabelecimentos abertos ao público;
- Estabelecimentos industriais;
- Estabelecimentos agropecuários;
- Edifícios pré-fabricados;

- Caravanas, parques de campismo e instalações similares;
 - Estaleiros, feiras, exposições e outras instalações temporárias;
- Marinas e portos de recreio.

3.3 LIGAÇÕES DE TERRA

O principal objetivo de um sistema de terra é o de garantir a segurança das pessoas e prevenir a ocorrência de danos nas instalações e equipamentos nelas presentes. Por inerência, o sistema de terra é também usado como referência de potencial nulo para interligação de equipamentos eletrônicos de elevada sensibilidade, nomeadamente os de telecomunicações e das tecnologias de informação [8].

A ligação à terra de instalações e equipamentos é um tema que atravessa as fronteiras de variadas disciplinas envolvidas no projeto e conceção dos edifícios modernos, sejam estes para fins industriais, comerciais ou até mesmo residenciais. É por isso de extrema importância que este tema seja visto como um todo, obrigando os engenheiros das diversas especialidades (civil, eletrotécnica, instrumentação, tecnologias de informação, entre outras) a falarem amiúde entre si, de forma a tomarem conhecimento das necessidades das instalações pelas quais são responsáveis [8].

De um modo geral, um sistema de terra necessita dar resposta a três requisitos fundamentais:

- Segurança: condução das correntes de defeito da forma mais direta, rápida e eficiente para o solo, sem que surjam tensões de passo ou contacto intoleráveis;
- Proteção e funcionalidade dos equipamentos: proteção dos equipamentos eletrónicos permitindo a sua interligação com uma baixa impedância e, assim, prevenir o aparecimento de perturbações que interfiram com o seu correto funcionamento;
- Proteção contra descargas atmosféricas e curto-circuitos: proteção das pessoas que estejam a ocupar o espaço, proteção contra danos diretos tais como, incêndios ou explosões derivados da queda direta de raios e sobreaquecimentos devidos a elevadas correntes de curto-circuito.

3.4 ELÉTRODOS DE TERRA

Os eléktodos de terra podem ter configurações muito diversificadas. Existem algumas configurações típicas para os eléktodos, tais como as indicadas nos trabalhos das referências [11] e [12]:

- Eléktodos de terra de superfície: sob a forma de fita ou cabo colocados horizontalmente em linha reta ou em anel;
- Eléktodos de estaca vertical: com o comprimento suficiente para atravessarem camadas de solo com condutividades diferentes, usados principalmente quando as camadas mais profundas do solo possuem menor resistividade;
- Eléktodos em malha reticulada: normalmente construídos como uma grelha posicionada horizontalmente enterrada a pouca profundidade abaixo da superfície;
- Eléktodos de fundação: ligação das partes metálicas das fundações embutidas em betão que se encontram em contacto com a terra numa grande área.

3.5 FUNÇÕES DAS REDES DE TERRAS

As redes de terra de um sistema de energia eléctrica apresentam como funções principais [10], [11] e [12]:

- Protecção de pessoas e bens;
- Terra de serviço em sistemas eléctricos de potência;
- Referência de potencial nulo em equipamentos electrónicos de elevada sensibilidade;
- Protecção contra descargas atmosféricas.

A terra de protecção permite a interligação de todas as partes metálicas que possam ser tocadas por pessoas ou animais. Em circunstâncias normais não existe potencial nestes pontos, mas numa situação de defeito podem surgir tensões perigosas devidas ao estabelecimento de uma corrente de defeito. Uma das funções do sistema de terra é a protecção de pessoas contra a ocorrência de choques eléctricos, sendo requisito fundamental que o potencial da terra, U_e , perante uma corrente de curto-circuito, I_{cc} , não exceda a tensão de contacto permitida U_c , ou seja, $U_e \leq U_c$.

A terra de serviço refere-se à necessidade de um dado sistema eléctrico necessitar de uma ligação ao sistema de terra de forma a assegurar o seu correto funcionamento. Um exemplo típico é a ligação à terra do neutro de um transformador.

3.6 LIGAÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS À REDE DE TERRAS

As formas de ligação dos sistemas elétricos à terra são [11]:

- Sistema isolado – não existe qualquer ligação entre o sistema elétrico e o solo. O nível máximo das sobretensões possíveis neste tipo de sistema é elevado e torna-se bastante difícil a localização de eventuais defeitos à terra. Este sistema é muito utilizado nas aplicações cuja tónica é a continuidade de serviço (hospitais, laboratórios, entre outros);
- Sistema solidamente ligado – o sistema elétrico é ligado diretamente à terra em diversos pontos, procurando obter-se um caminho de mínima impedância à passagem de uma eventual corrente de defeito para o solo. Esta é a forma mais habitual de ligação dos sistemas à terra;
- Sistema ligado por impedância – nesta situação é propositadamente colocada uma impedância (resistência ou reatância) entre o sistema elétrico e a terra, que procura limitar o valor da corrente de defeito, sem eliminar totalmente a ligação do sistema ao solo. O avanço da tecnologia digital na deteção de baixas correntes de defeito tem feito com que este tipo de ligação tenha cada vez um maior número de seguidores.

3.6.1 LIGAÇÕES À TERRA E OS REGIMES DE NEUTRO

O dimensionamento e construção dos sistemas de terra, interage de forma direta com os regimes de neutro, deste modo a consulta da legislação aplicável em vigor é indispensável nomeadamente as RTIEBT [1], que contêm um vasto normativo aplicável ao setor elétrico.

Os sistemas de distribuição devem ser determinados em função dos tipos de esquemas dos condutores ativos e das ligações à terra.

O esquema TN tem um ponto ligado diretamente à terra, sendo as massas da instalação ligadas a esse ponto por meio de condutores de proteção. De acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção consideram-se os três tipos de esquemas TN seguintes:

- Esquema TN-S: onde um condutor de proteção (distinto do condutor neutro) é utilizado na totalidade do esquema;
- Esquema TN-C-S: onde as funções de neutro e de proteção estão combinadas num único condutor numa parte do esquema;
- Esquema TN-C: onde as funções de neutro e de proteção estão combinadas num único condutor na totalidade do esquema.

O esquema TT tem um ponto da alimentação ligado diretamente à terra, sendo as massas da instalação elétrica ligadas a eletrodos de terra eletricamente distintos do eletrodo de terra da alimentação.

No esquema IT todas as partes ativas estão isoladas da terra ou um ponto destas está ligado à terra por meio de uma impedância, sendo as massas da instalação elétrica ligadas à terra.

Capítulo 4

UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTAS

Neste capítulo são apresentadas as tipologias de UPS existentes e a normalização nacional e internacional aplicável. São, igualmente, abordados os fenómenos de conteúdo harmónico, a compatibilidade eletromagnética e os filtros em unidades de alimentação ininterruptas.

4. UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA

Uma unidade de alimentação ininterrupta, UPS, é um sistema capaz de fornecer uma energia ininterrupta. É constituída por eletrônica de potência (estática) e baterias de acumuladores onde é armazenada energia para garantir a autonomia pretendida. Por oposição à tecnologia estática existem UPS dinâmicas, tal como o próprio nome refere, são sistemas que englobam partes mecânicas em movimento onde pode ser convertida energia cinética em elétrica e vice-versa.

As UPS estáticas podem, também, ser classificadas segundo a norma IEC 62040-3 [14] onde é definida a qualidade de tensão na saída da UPS. A referida norma considera três classes:

- Classificação VFD, de tensão e frequência de saída dependentes da entrada): a rede de entrada passa diretamente para a saída até ocorrer uma avaria, altura em que o inversor se encarrega de fornecer a energia.
- Classificação VI, de tensão de saída independente da entrada): intercala um transformador/estabilizador que alimenta a carga na presença da rede. O dispositivo é controlado por um microprocessador que supervisiona a qualidade da alimentação e reage perante as flutuações. A principal vantagem da variedade *Line-interactive* está na possibilidade de compensação das flutuações de tensão sem recorrer às baterias.
- Classificação VFI, de tensão e frequência independentes da entrada): a tensão de saída é gerada completamente por uma sequência de conversão de corrente alternada em corrente contínua (c.a./c.c.), seguida de uma conversão de corrente contínua em corrente alternada (c.c./c.a.), obtendo-se uma fonte de alimentação sem nenhum tipo de interferência elétrica. Este tipo de sistemas constitui a solução mais fiável para proteger cargas críticas de quaisquer perturbações da rede elétrica.

4.1 TIPOLOGIAS

Existem 3 tipologias usadas nestes equipamentos [15] e [16]:

- *Off-Line*

A sua principal aplicação é proteger equipamentos de baixa importância, onde a qualidade de energia não é muito má, no que diz respeito às variações de tensão e frequência.

Quando ocorre uma falha de tensão da rede, um armazenamento de energia em baterias de acumuladores, em geral, de chumbo, com eletrólito absorvido em manta de microfibra de vidro, tecnologia *Absorbent Glass Mat*, AGM, e regulação tipo *Valve Regulated Lead Acid*, VRLA,

garantem a alimentação à carga com um sinal denominado por pseudo-sinusoidal e com um corte que pode ter a duração de um ciclo (20ms).

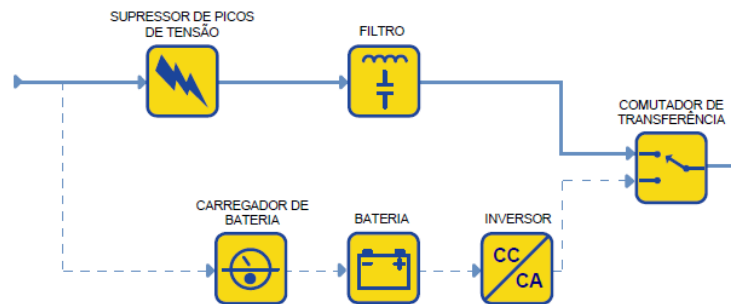


Figura 4-1 Esquema de UPS *Off-Line*.

- *Line-Interactive*

Esta tecnologia acresce face à *off-line* a função de regulação de tensão, útil para utilizações com maior importância e com redes públicas sujeitas a variações de tensão.

A tensão de saída pode não ser sinusoidal e está sujeita a um corte que varia dos 6 aos 15ms sempre que há uma falha de rede e trabalha a partir do ondulador.

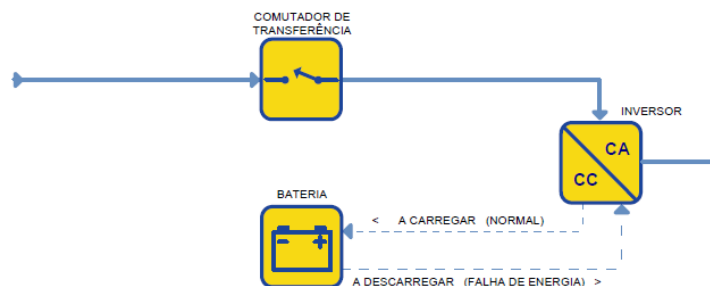


Figura 4-2 Esquema de UPS *Line-Interactive*.

- *On-Line*

Estas UPS convertem a tensão CA em CC e voltam a convertê-la em CA e, em geral, têm sempre associado o *bypass* estático e a partir de algumas potências o manual. Podem trabalhar em paralelo para garantirem redundância ou soma de potência.

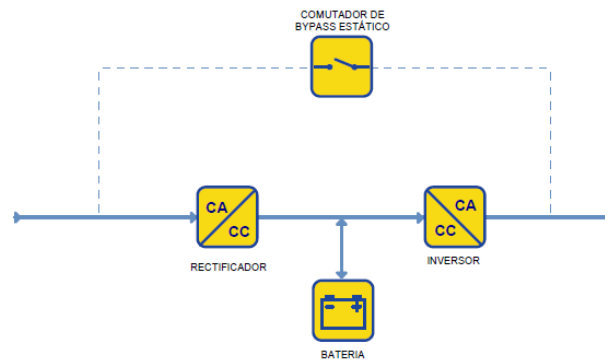


Figura 4-3 Esquema de UPS *On-Line*.

Nas UPS *on-line* podem existir três modos de operação distintos:

- Dupla conversão: o sinal de saída é produzido pelo ondulator que, por sua vez, recebe energia do retificador que está em tampão com as baterias de acumuladores.
- Modo ECO: a carga é alimentada pela rede através do *bypass* estático, o ondulator está parado e o retificador e o carregador mantêm a carga das baterias. O rendimento para alguns fabricantes atinge os 99%.
- Modo ECO-conversão: as baterias são carregadas pelo ondulator e só o retificador está parado. Assim com uma perturbação da rede conseguem uma resposta e tem 96% como rendimento típico.

Na redundância, um dos conceitos utilizados por alguns fabricantes, é o $N+X$, onde o N é o número mínimo de UPS necessário para fazerem a potência da carga e o X representa o número de UPS que ficam em redundância.

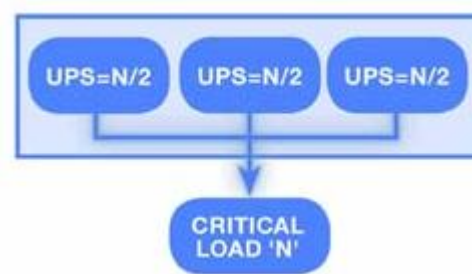


Figura 4-4 Esquema de redundância $N+1$.

Também se utiliza a redundância $2N$. Neste caso as unidades de alimentação não funcionam em paralelo, mas alimentam quadros elétricos distintos que, por sua vez, poderão alimentar uma das múltiplas fontes, como por exemplo, o caso dos servidores de informática de elevada importância.

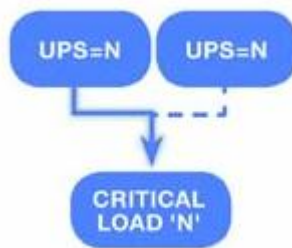


Figura 4-5 Esquema de redundância 2N.

4.2 NORMALIZAÇÃO APLICÁVEL A UPS

A normalização existente no que respeita a UPS é muito vasta e abrange inúmeras vertentes, tais como tipologia, segurança, imunidade, compatibilidade eletromagnética, CEM e harmónicos. Todas estas vertentes podem ser consultadas em normas ou diretivas europeias e/ou internacionais.

Tem-se verificado um desenvolvimento significativo do quadro normativo dedicado às UPS particularmente no que diz respeito à CEM e harmónicas. Somente organismos de certificação credenciada, como são o caso das empresas *TÜVRheinland* e da *Bureau Veritas*, que conferem através da realização de testes e ensaios realizados em conformidade com a normalização em vigor, verdadeira garantia de qualidade aos equipamentos.

As normas relativas a UPS abrangem, entre outros, os seguintes aspetos:

- Projeto da UPS;
- Segurança das pessoas;
- Desempenho;
- Ambiente elétrico (incluindo a não poluição harmónica e CEM);
- Ambiente ecológico.

4.2.1 NORMAS GERAIS

Do ponto de vista de segurança e condições gerais de instalação para UPS em locais acessíveis aos operadores e restritos aos operadores são de considerar as seguintes normas:

- IEC 62040-1-1 [17] / EN 62040-1-1 [18], segurança e prescrições gerais para UPS instaladas em locais acessíveis ao operador;

- IEC 62040-1-2 [19] / EN 62040-1-2 [20], segurança e prescrições gerais para UPS instaladas em locais restritos ao operador.

Relativamente às especificações sobre testes e níveis de desempenho tem que se considerar a norma:

- IEC 62040-3 [21] / EN 62040-3 [22], método e especificação das *performances* e testes de UPS.

4.2.2 MARCAÇÃO CE

A marca CE foi criada dentro do quadro da legislação europeia. Destina-se a garantir a conformidade com as diretivas comunitárias relevantes referente à natureza do produto:

- Grau de perigosidade (Diretiva BT) [23];
- Nível de poluição e compatibilidade eletromagnética (Diretiva EMC) [24].

Para colocação da marca CE no produto o fabricante deve realizar inspeções e testes para assegurar a conformidade do produto de acordo com os requisitos definidos pela respetiva diretiva ou diretivas. A marca CE não é nem uma marca padrão nem uma certificação de conformidade. Assim sendo não significa que o produto esteja de acordo com as normas nacionais e internacionais.

Por outro lado, a marca CE é da exclusiva responsabilidade do fabricante ou importador que assume o controlo efetuado não sendo o mesmo certificado por um organismo externo. Os rótulos não têm as mesmas implicações para cada fabricante. O cumprimento das normas e *performances* deveria ser certificado por um organismo externo.

4.2.3 SEGURANÇA

No que se refere à segurança e cuidados a verificar em instalações de baixa tensão, BT, e aos materiais a utilizar têm que se respeitar as normas:

- IEC 60439 [25], segurança de equipamentos em BT;
- IEC 60950 [26] / EN 60950 [27], segurança dos materiais de tratamento de informação;
- Diretiva de BT 73/23/CEE [23] e 93/68/CEE [24].

4.2.4 AMBIENTE ELÉTRICO

As UPS são compatíveis para funcionamento em qualquer regime de terras desde que cumpridas as RTIEBT.

4.2.4.1 CONTEÚDO HARMÓNICO

Um alargado conjunto de normas e recomendações aborda o assunto do conteúdo harmónico máximo produzido por equipamentos elétricos, entre os quais se encontram as UPS. Destacam-se as que impõem limites quantitativos:

- IEC 61000-2-2 [28] / EN 61000-2-2 [29], nível de compatibilidade para as perturbações conduzidas a baixa frequência sobre a rede em BT;
- IEC 61000-3-2 [30] / EN 61000-3-2 [31], limitação para emissão de harmónicas, em corrente na entrada dos equipamentos com intensidades iguais ou inferiores a 16A;
- IEC 61000-3-4 [32] / EN 61000-3-4 [33], limitação para emissão de harmónicas, em corrente na entrada dos equipamentos com intensidades iguais ou superiores a 16A;
- IEC 61000-3-5 [34] / EN 61000-3-5 [35], limitação nas tensões e *Flicker*;
- EN 50160 [36], características da onda de tensão fornecida às redes de alimentação pública;
- IEEE 519 [37], recomendações para o controlo de harmónicas nos sistemas elétricos de potência.

É importante salientar alguns limites quantitativos fixados pelas normas anteriormente citadas, constantes das Tabela 4-1, Tabela 4-2 e Tabela 4-3.

Tabela 4-1 Níveis máximos de tensão de acordo com a norma EN 50160

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6.....24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
Nota: não são indicados harmónicos de ordem superior a 25 por serem, em geral, de pequena amplitude e muito imprevisíveis devido a efeito de ressonância.					

Tabela 4-2 Níveis máximos de tensão de acordo com as normas IEC 61000-2-2 e EN 61000-2-2

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6	0,5
13	3,0	21	0,5	8	0,5
17	2,0			10	0,5
19	1,5			12	0,5
23	1,5	>21	0,2	>12	0,2
25	1,5				0,2
>25	0,2+0,5x25/n				
Nota: THDU< 8% (para a soma dos harmónicos indicados)					

Tabela 4-3 Classificação em classes em função da qualidade de tensão de acordo com as normas

IEC 61000-2-2 e EN 61000-2-2

Tensão gerada por ordem do harmónico h	Classe 1 - materiais e sistemas sensíveis (% da freq. fundamental)	Classe 2 - redes públicas e industriais (a) (% da freq. fundamental)	Classe 3 - redes muito perturbadas (% da freq. fundamental)
2	2	2	3
3	3	5	6
4	1	1	1,5
5	3	6	8
6	0,5	0,5	1
7	3	5	7
8	0,5	0,5	1
9	1,5	1,5	2,5
10	0,5	0,5	1
11	3	3,5	5
12	0,2	0,2	1
13	3	3	4,5
THDU	5%	8%	10%
(a) A classe 2 corresponde ao quadro da norma IEC e EN 61000-2-2			

4.2.4.2 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Relativamente à compatibilidade eletromagnética são de salientar um conjunto de normas e diretivas, entre as quais:

- IEC 61000-4-2 [38] / EN 61000-4-2 [39], imunidade às descargas eletroestáticas;
- IEC 61000-4-3 [40] / EN 61000-4-3 [41], imunidade aos campos radiados;
- IEC 61000-4-4 [42] / EN 61000-4-4 [43], imunidade às ondas de fraca energia (transitórios rápidos);
- IEC 61000-4-5 [44] / EN 61000-4-5 [45], imunidade às sobretensões (ondas de elevada energia);
- EN 55011 [46] - classe A, perturbações eletromagnéticas dos aparelhos, científicos e de uso médico, em aplicações industriais, face a emissões conduzidas e radiadas;
- EN 50091-2 [47], compatibilidade eletromagnética em unidades de alimentação ininterruptas;

- Diretivas CEE 89/336 [48] e CEE/93/68 [24], destinadas a aparelhos que possam provocar perturbações eletromagnéticas ou que por elas possam ser afetados.

4.2.4.3 FILTROS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

No que respeita a normalização no âmbito de filtros para compatibilidade eletromagnética são de realçar as normas e diretivas, abaixo indicadas de acordo com a sua classe:

- Classe A – Utilização em ambientes industriais:
 - IEC 61000-6-4 [49] / EN 50081-2 [50], emissão;
 - IEC 61000-6-2 [51] / EN 50082-2 [52], imunidade.
- Classe B – Utilização em ambientes residenciais, de uso médico e iluminação comercial e industrial:

- IEC 61000-6-3 [53] / EN 50081-1 [54], emissão;
 - IEC 61000-6-1 [55] / EN 50082-1 [56], imunidade.

4.2.5 QUALIDADE

Quanto à qualidade das unidades de alimentação ininterrupta, as mesmas são fabricadas e concebidas, respeitando a seguinte norma:

- ISO 9001 [57], organização de processos de qualidade.

4.2.6 AMBIENTE E ECOLOGIA

Em relação à integração no meio ambiente envolvente, bem como tendo em atenção o seu ciclo de vida completo, as unidades de alimentação ininterrupta são fabricadas e concebidas, respeitando a norma:

- ISO 14001 [58], integração ecológica e ambiental.

4.2.7 RUÍDO ACÚSTICO

No âmbito da integração no meio ambiente, no que concerne aos níveis de ruído emitidos quando em funcionamento, as unidades de alimentação ininterrupta são fabricadas, concebidas e aferidas, respeitando as normas:

- ISO 3746 [59], métodos de medição de potência acústica;
- ISO 7779 [60] / EN 27779 [61], medida de níveis de ruído provenientes de ventilação em computadores e equipamentos de escritório.

4.3 CONTEÚDO HARMÓNICO EM UPS

O conteúdo harmónico gerado por cargas não lineares configura um ruído eléctrico nas instalações que provoca várias anomalias no funcionamento dos equipamentos desde sobreaquecimento de condutores, desclassificação de fontes a erros de leitura, entre muitas outras.

As UPS uma vez que são constituídas por electrónica de potência, como consequência constituem equipamentos geradores de ruído, mais concretamente, ruídos produzidos em frequências múltiplas da frequência de 50 *Hz* (fundamental) e com amplitudes suficientes para deformar os sinais de corrente e tensão.

As UPS podem ser vistas como fontes ou cargas face à instalação eléctrica onde se inserem:

- Enquanto cargas:
 - ✓ As primeiras gerações de UPS eram equipadas com uma ponte retificadora a tirístores que provocavam uma taxa harmónica de distorção em corrente, THDi muito elevada (superior a 50%). Nestes casos os fabricantes desenvolveram filtros passivos, ativos ou híbridos, para minimizar este efeito.
 - ✓ Nas novas gerações de UPS a retificação do sinal já é feita com uma combinação e controlo da electrónica de potência de modo a que a THDi seja inferior a 10 % e o seu fator de potência superior a 0,97 [62].
 - ✓ As UPS constituem boas soluções do ponto de vista técnico para as instalações eléctricas. Regra geral alimentam cargas não lineares, logo devem tamponar os ruídos por elas provocados e absorver um sinal o mais próximo possível da senoide para não perturbar nem sobrecarregar a instalação eléctrica.
- Enquanto fontes:
 - ✓ As UPS devem ter sempre uma taxa harmónica de distorção em tensão, THDv o mais baixa possível, de modo a que as cargas, apesar de deformantes, recebam um sinal o mais próximo possível do sinusoidal. Uma das técnicas utilizadas pelos fabricantes para conseguir esse objetivo é utilizarem a frequência de comutação da electrónica do ondulator de forma variável, assim a fonte consegue um ajuste de impedância à carga [63].

4.4 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

A regulamentação a nível mundial sobre compatibilidade eletromagnética, CEM, é dividida basicamente em duas correntes, a japonesa e a americana:

- No caso do Japão, a emissão de ruídos que perturbem as radiocomunicações é ilegal;
- Nos EUA onde as emissões acima dos níveis normalizados estabelecidos pela *Federal Communications Commission*, FCC, *part 15* [64], também são ilegais.

Na Europa a regulamentação encontra-se numa posição intermédia entre as duas anteriormente referidas. Nesse sentido, as emissões de ruídos produzidos por equipamentos muito sensíveis são ilegais. A regulamentação vigente aplica-se a todos os aparelhos e instalações, sem exceções.

Os limites toleráveis na Europa e nos EUA são diferentes, assim como os métodos de ensaio. As normas americanas dividem os equipamentos automáticos de processamento de dados, em classes A (a serem usados em ambientes industriais) e B (a serem usados em ambientes residenciais), em que os limites toleráveis para a classe B são mais exigentes que para a classe A. Para a classe B é exigida uma certificação enquanto para a classe A apenas é especificada uma verificação da conformidade.

As normas usadas na Europa são as da *International Special Committee on Radio Interference*, CISPR, que também são usadas no Japão para solucionar as *event*UPS nos tribunais. No entanto, é cada vez maior o número de pessoas a respeitar os limites, denotando um compromisso de cidadania.

Os problemas de CEM geralmente ocorrem quando um equipamento altamente sensível a ruídos elétricos estranhos (os quais são normalmente referidos como “interferências”), é colocado num ambiente sujeito a perturbações eletromagnéticas. Tornar os equipamentos eletrónicos imunes a elas é difícil e as fontes de ruído são numerosas e inevitáveis. Torna-se, então, necessário considerar uma correta distribuição física dos equipamentos sensíveis e usar adequados sistemas de interligação de aparelhos e fontes (condutores). Este é o principal meio de assegurar um grau satisfatório de imunidade para a maioria dos Equipamentos Eletrónicos Sensíveis, EES, que são atualmente denominados Equipamentos da Tecnologia da Informação, ETI.

A intensidade das perturbações eletromagnéticas é representada por quatro parâmetros: dois para o modo de condução: tensão e corrente (em *Volt* e *Ampere*), e dois para o modo de radiação: campo elétrico e campo magnético (em *V/m* e *A/m*).

A frequência é um dos principais fatores que caracterizam uma onda eletromagnética e no estudo dos fenómenos de CEM, as interferências distintas conforme se trate de baixa frequência em BT ou de alta frequência em AT.

Existem dois modos de interferência eletromagnética:

- Conduzida por cabos, fios, entre outros;
- Radiada por indução estacionária (campos magnéticos ou eletroestáticos) e/ou ondas eletromagnéticas (rádio).

De uma forma global as interferências do tipo conduzidas são mais frequentes de ocorrer em sistemas com baixa frequência, BF, enquanto as induzidas são típicas de sistemas de alta frequência, AF.

4.4.1 PERTURBAÇÕES EM BAIXA FREQUÊNCIA

As perturbações em BF incluem todos os tipos de interferência nas UPS em que as faixas de frequências significativas estão abaixo de 9 kHz. A frequência de kHz é um limite convencional superior abaixo do qual os fenómenos eléctricos podem ser analisados em termos simples, usando as técnicas de circuitos eléctricos lineares baseadas em indutâncias (múltiplas e próprias) e capacidades. Por definição, uma perturbação em BF existe por um tempo relativamente “longo” (pelo menos algumas centenas de μs). O nível de energia de uma perturbação em BF pode ser considerável e facilmente medido.

A impedância de um cabo em BF é praticamente equivalente à sua resistência. A indutância linear de um condutor de secção pequena sob vários kHz e sob 60 Hz (para cabos de grandes secções) é da ordem de 1 $\mu H/m$ e sua impedância aumenta linearmente com a frequência. Este facto é importante quando se consideram os harmónicos de frequência numa rede. Um condutor PE de 35mm² ou superior terá um aquecimento reduzido sob corrente de defeito, mas terá um efeito insignificante na distribuição de potencial, pois a indutância do cabo é praticamente independente da sua secção.

4.4.1.1 MODO DIFERENCIAL

O modo diferencial é o modo normal de condução de corrente por um circuito de dois condutores. Este modo é também conhecido como modo normal, modo simétrico ou modo série. No modo diferencial a corrente flui num condutor na exata oposição de fase àquela do outro condutor, ou seja, circulam em direcções opostas a cada instante, conforme Figura 4-6.

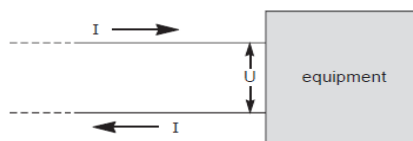


Figura 4-6 Condução em modo diferencial.

4.4.1.2 MODO COMUM

O modo comum é essencialmente de perturbações. Também conhecido como modo paralelo, longitudinal ou assimétrico. As correntes de modo comum passam por todos os condutores de um cabo na mesma direção (Figura 4-7). O percurso de retorno de tais correntes é pela terra, conexões de interligação, blindagem dos cabos, etc. Uma diferença de potencial em modo comum é medida entre as massas (terminal local de referência zero) e o valor de potencial médio de todos os condutores do cabo do circuito em testes. Esse potencial pode estar presente sem passagem de corrente.

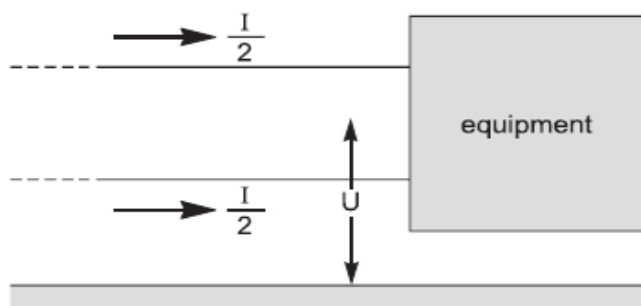


Figura 4-7 Condução em modo comum.

As perturbações eletromagnéticas podem-se acoplar a cabos no modo comum, particularmente em AF, pois estes atuam como antenas. São vários os tipos de acoplamentos que podem ocorrer entre circuitos vizinhos.

Os problemas da condução em modo comum são particularmente críticos em AF quando em ambiente isolado, ou onde a massa está "flutuando" em relação à terra, ou seja, isolada da terra.

Algumas medidas de correção adotadas podem produzir efeitos secundários perigosos onde é necessário que sejam combinadas com outros cuidados para, efetivamente, trabalhar em todas as faixas de frequências e de amplitudes. A combinação de medidas corretivas é referida como proteção coordenada.

4.4.2 PERTURBAÇÕES EM ALTA FREQUÊNCIA

Em AF, convencionalmente acima de 1 *MHz*, os fenómenos de interferência tornam-se consideravelmente mais complicados. Os condutores de potência tornam-se antenas eficientes e os campos eletromagnéticos ainda que fracos produzem interferência considerável e, assim, todos os cabos são afetados e alguns podem ainda entrar em ressonância.

Os fenómenos em AF são severos, frequentes, difíceis de analisar e são motivo para reconsiderar as práticas estabelecidas para instalação de condutores e cabos. A indutância dos

cabos é um problema mais importante em AF do que em BF. A indutância linear de uma estrutura condutora praticamente reta é aproximadamente $1 \mu H/m$. Além disso uma interligação de um comprimento excedendo $1/30$ de um comprimento de onda torna-se praticamente incapaz de assegurar a equipotencialidade entre duas massas interligadas.

Acima de um comprimento de $1/30$, um condutor torna-se uma efetiva antena radiante mas, sendo radiante, ele deixa de se comportar como um condutor equipotencial. O comprimento de onda λ correspondente a $1 MHz$ é $300m$.

Como a distância entre um equipamento e o terminal de principal de terra (TPT) é geralmente maior que $10m$, seria fácil deduzir que a natureza e qualidade da ligação à terra não terá consequências para frequências superiores a $1 MHz$. Quanto menor for a distância do condutor, melhor. Os maiores problemas na CEM são as perturbações em alta frequência em modo comum em condutores e pode ser reduzida por interligação fechada em malha, por condutores de equipotencialização, por filtros entre os condutores, por massas mecânicas de cada equipamento e, ainda, por ferrites em condutores sensíveis e suspeitos.

Os circuitos elétricos devem estar protegidos por um invólucro metálico devidamente ligado à terra.

4.4.2.1 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Em altas frequências os campos elétrico (E) e magnético (H) formam ondas eletromagnéticas indivisíveis no espaço. A uma distância superior a um sexto do comprimento de onda de uma fonte pontual a relação E/H tende a $120 \pi = 377 \Omega$. É suficiente, por isso, dar o valor de um componente para deduzir o valor da intensidade do campo. Numerosos aparelhos industriais, científicos e médicos usam frequentemente rádio frequência na faixa de $1 MHz$ a $3 GHz$. Os transmissores de rádio têm uma potência radiante variando desde vários mW para os aparelhos de rádio controlo, a vários MW de pico para os sistemas de radar. *WalkieTalkies*, que podem ser usados para transmissão muito próximos a equipamentos eletrónicos, são fontes perturbadoras, particularmente para circuitos analógicos de baixa potência.

Um meio efetivo de reduzir a intensidade do campo de um rádio transmissor “visto” por equipamentos da tecnologia da informação (ETI), é usar antenas tão afastadas quanto possível dos ETI e localizá-las à maior altura possível. Uma vez que este princípio não pode ser usado no caso dos transmissores portáteis, a sua utilização deve ser restrita às áreas suficientemente afastadas dos ETI para assegurar uma operação sem perturbações destes últimos.

Os equipamentos eletrônicos raramente são afetados por campos da ordem de $1A/m$. No entanto, campos de intensidades superiores a $10 A/m$ não podem, muito frequentemente, ser tolerados. A faixa de frequências que gera as perturbações mais severas é a de *very high frequency*, VHF. Uma corrente de modo comum, de AF, num cabo produz sempre uma onda radiada. O recíproco também é verdadeiro, isto é, uma onda de AF que afete um cabo produz nele uma corrente de modo comum. Os métodos de proteção contra campos de AF são os mesmos adotados contra as perturbações por condução nas mesmas frequências.

O efeito de antena de cabos conduzindo correntes de AF por acoplamento em modo comum constitui o principal problema da CEM.

O dimensionamento de um sistema elétrico com equipamentos com eletrônica de potência tem de ter em consideração os ruídos gerados pelas frequências superiores a $50 Hz$. Porém, o que acontece na prática é que os projetos, nomeadamente os executados em regime de terra TN-C, não estão preparados para que os equipamentos instalados funcionem corretamente. Quando isto acontece ficam comprometidas as proteções da instalação e principalmente o funcionamento dos próprios equipamentos. Numa tipologia TN-C fica comprometido o escoamento do ruído em modo comum e verificam-se potenciais elétricos no condutor PEN.

Este é o preço a pagar para se conseguir a CEM em sistemas eletrônicos modernos. Muitas práticas que são satisfatórias em BF têm demonstrado ser pobres ou catastróficas em AF.

Certas opções de cablagem podem ser escolhidas com segurança. A interligação de todas as terras não funcionais num único local é um exemplo. Opções com bons resultados devem passar a ser a prática padrão. As expressões “terra”, “placa de terra”, “haste de terra” referem-se a um condutor enterrado e em contacto com o solo. A palavra “massa” refere-se a partes metálicas de equipamentos (elétricos ou não - como as tubagens de água), que em condições normais não conduzem corrente. Condutores de interligação usados para interligar as massas são também referidos como “massas”. Ainda que todas as massas nas práticas normais de instalações em BF sejam ligadas à terra, as duas palavras, “terra” e as outras equivalentes referidas acima não devem ser confundidas com “massa” normalmente designada por “*ground*” em alguns países de língua inglesa.

4.4.3 FILTROS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Tal como referido anteriormente, para que os equipamentos e em concreto as UPS possam funcionar corretamente, nas diversas infra-estruturas elétricas, devem possuir filtros e encapsulamento adequado de modo a cumprirem a normalização existente, (Figura 4-8).

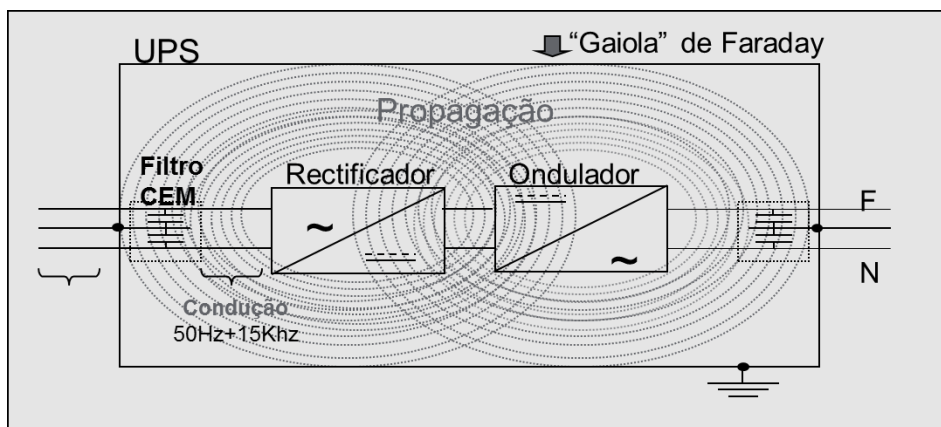


Figura 4-8 Filtro de compatibilidade eletromagnética.

Os filtros destinam-se a garantir a CEM e a evitar a propagação de ruídos eletromagnéticos. Na Figura 4-9 verifica-se que contrariamente às harmónicas que provocam deformação da onda sinusoidal, devido à sua elevada amplitude, os ruídos eletromagnéticos situam-se numa envolvente da onda fundamental.

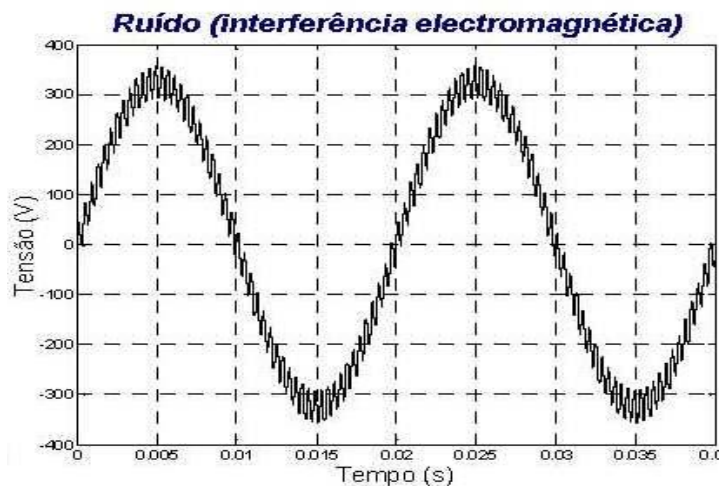


Figura 4-9 Ruído CEM.

Para que os equipamentos do tipo UPS cumpram as normas a aplicação destes filtros é obrigatória. Nas Figura 4-10 e Figura 4-11 podem aferir-se quais os esquemas de filtros de CEM a colocar na entrada, respetivamente para UPS monofásicas e trifásicas.

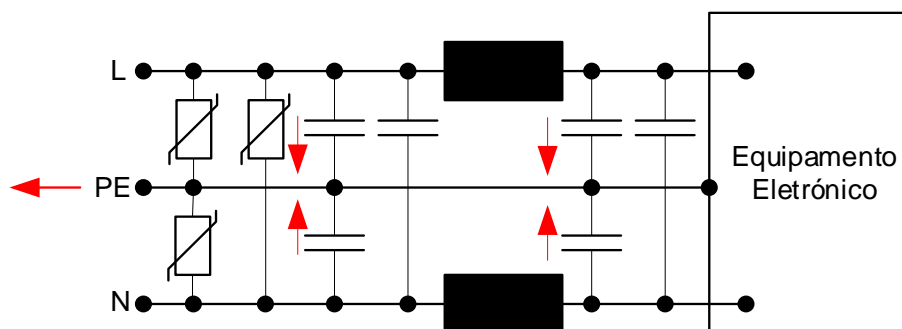


Figura 4-10 Esquema de filtro de entrada para UPS monofásica.

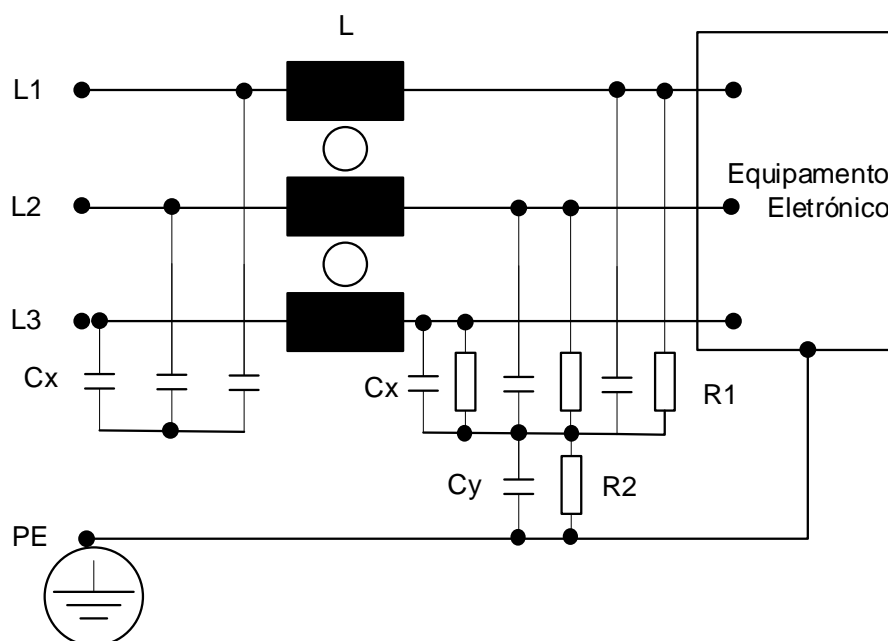


Figura 4-11 Esquema de filtro de entrada para UPS trifásica.

Este tipo de filtros, pela sua constituição (condensadores), provoca, com o aumento da frequência, uma corrente de fuga. A corrente de fuga a montante do equipamento, neste caso, uma UPS, é uma parcela do somatório das fugas de todos os recetores que estão a jusante.

4.5 DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS DE UPS

De acordo com estudos efetuados [65], a Figura 4-12 reflete a disponibilidade dos sistemas ininterruptos, o que garantem nas instalações nos vários regimes de terras tendo em conta os seus custos, de acordo com as configurações 1 a 8:

1. Nesta configuração, além da UPS e da proteção magnetotérmica também é necessário existir proteção diferencial;

2. Nesta configuração além da UPS devem ser consideradas duas proteções magnetotérmicas, duas diferenciais e um transformador de isolamento;
3. Para além da necessidade do transformador obriga a colocar, na saída do transformador e da UPS, controladores permanentes de isolamento combinados;
4. Em TN basta a aplicação das proteções magnetotérmicas, desde que seja garantida a proteção de pessoas;
5. Obriga à colocação de dois transformadores de isolamento, para além das proteções magnetotérmicas e diferenciais;
6. Basta um transformador para alimentar as duas UPS e os dispositivos necessários para o sistema de neutro IT;
7. É o custo de duas UPS, desde que em TN-S não seja obrigatório colocar proteções diferenciais;
8. Além das duas UPS, se as cargas só tiverem uma fonte, necessita da aplicação de comutadores redundantes.

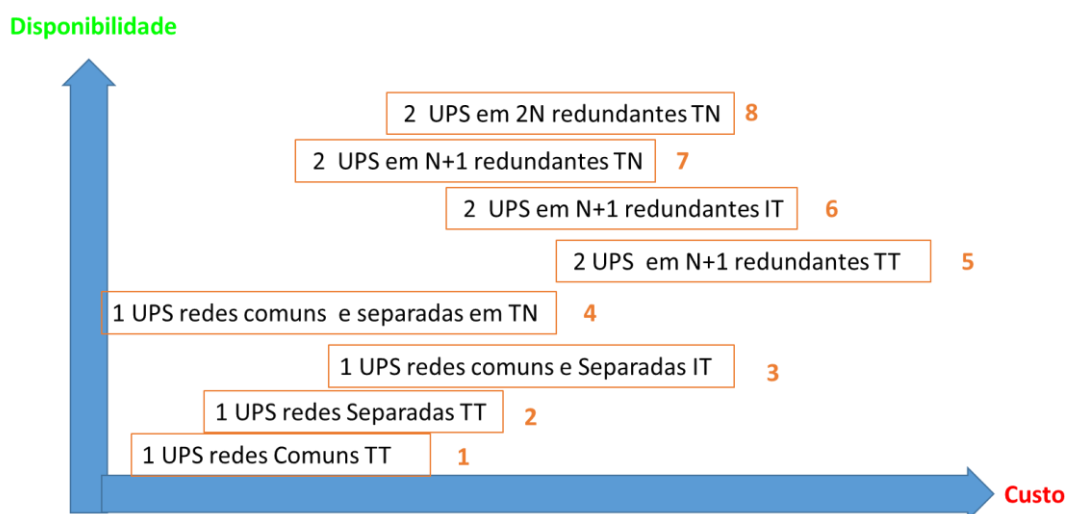


Figura 4-12 Relação custo e disponibilidade com arquiteturas de UPS.

Capítulo 5

ESQUEMAS DE LIGAÇÃO TÍPICOS DE UPS

No presente capítulo são descritos os tipos de UPS quanto ao número de redes de entrada e a sua forma de agrupamento, bem como a sua interligação para o funcionamento em paralelo, com apresentação dos esquemas típicos mais utilizados e proteções utilizadas.

5. ESQUEMAS DE LIGAÇÃO TÍPICOS DE UPS

Este capítulo tem como objetivo apresentar algumas arquiteturas em sistemas socorridos e fazer o enquadramento com a sua compatibilidade nos vários regimes de terras da instalação [65].

5.1 UPS EM FUNCIONAMENTO UNITÁRIO

5.1.1 UPS DE REDES SEPARADAS (DESCONTINUADA)

Há uma década atrás, tendo em conta a tecnologia utilizada com pontes retificadoras a tirístores, as duas redes de entrada eram completamente independentes, o neutro só passava no *bypass* e estava galvanicamente isolado do retificador. Com esta tecnologia os problemas com as proteções ficavam reduzidos às fugas dos filtros CEM. Este tipo de equipamento encontra-se descontinuado (Figura 5-1).

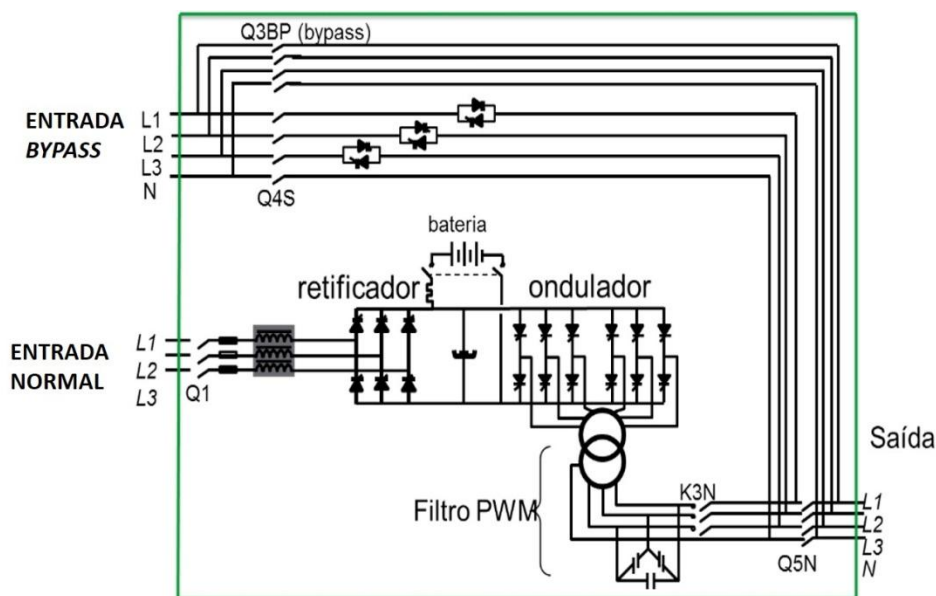


Figura 5-1 Esquema multifilar de UPS com redes separadas.

5.1.2 UPS DE REDES COMUNS

Com este tipo de ligação não há o problema de em TT nas proteções diferenciais haver disparos entre redes de alimentação à UPS mas, como anteriormente referido, a proteção deve estar adequada no tipo (imune a componentes contínuas, transitórios e ruído de alta frequência), e também à fuga referida pelo fabricante. Após alguma pesquisa, conclui-se que em equipamentos trifásicos no intervalo de potências de 10 a 100 kVA, a corrente de fuga pode chegar a atingir os 3 A (Figura 5-2).

Uma desvantagem, neste tipo de ligação, que importa referir é o facto de na presença de um problema na UPS ou até a jusante disparar a única proteção a montante da instalação e, assim que se esgote a autonomia das baterias, a carga fica sem qualquer alimentação.

Resolve-se a questão da incompatibilidade dos dois diferenciais, mas baixa a disponibilidade da alimentação elétrica neste ponto da instalação.

Com o sistema TN-S a proteção magnetotérmica assegura simultaneamente a proteção das pessoas. Assim, é garantida a maior continuidade de serviço. De referir que para isto é aconselhável que estas fontes fiquem em locais de acesso condicionado, acessível apenas a técnicos instruídos, BA4 e qualificados, BA5 segundo as RTIEBT em vigor na tabela apresentada no ponto 322.1 [1].

A proteção das pessoas no quadro de distribuição a jusante da UPS depende do tipo de carga (linear ou não linear) e da localização dos equipamentos.

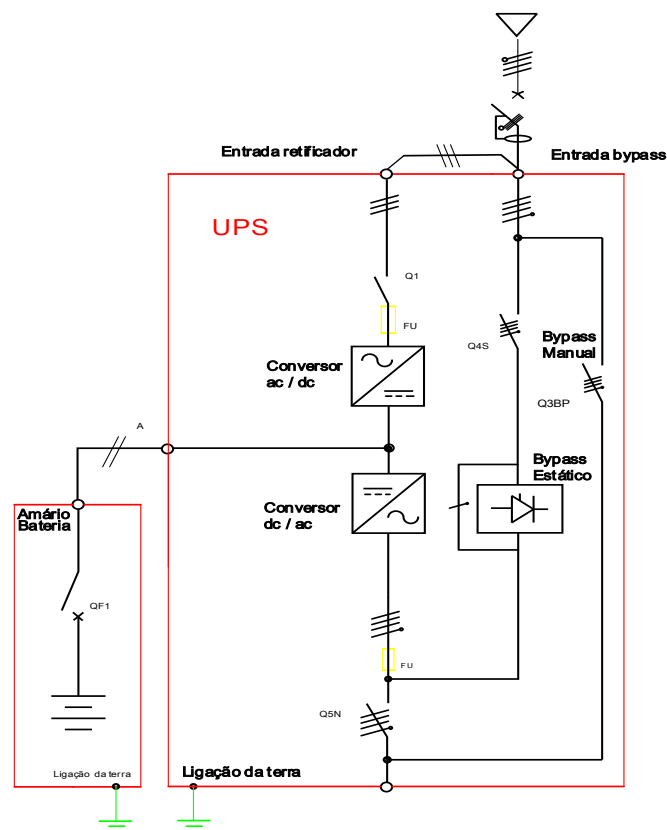


Figura 5-2 UPS de redes comuns.

5.1.3 UPS DE REDES SEPARADAS

Tendo em conta a tecnologia atual das UPS não é possível ter uma proteção diferencial em cada rede sem a adaptação pelo transformador de isolamento.

Como o neutro da rede do *bypass* vai ao circuito do retificador, a soma vetorial vai ser afetada e vão acontecer disparos. Neste caso há fabricantes que aconselham a colocação de um transformador de isolamento triângulo estrela e o ponto médio da estrela passa a ser o neutro da instalação a partir desse ponto. Com esta adaptação já é possível efetuar a proteção diferencial em cada um dos ramos sem haver conflitos e disparos. Mas em rigor, no ramo do transformador, a proteção contra contactos indiretos só é feita a este, uma vez que a jusante e até à UPS já não existe este tipo de proteção. Após esta alteração é possível colocar duas proteções diferenciais adequadas tripolares, uma para o retificador e outra para o transformador, que por sua vez alimenta o *bypass*. Em cada alimentação, como se pode observar na Figura 5-3, o transformador deve ficar junto à UPS uma vez que não há proteção entre os dois. Neste caso, se acontecer uma passagem de um componente a jusante da UPS até ao quadro de saída não há proteção contra contactos indiretos.

Na prática quem vai fazer a proteção contra contactos à UPS é o diferencial que está no retificador. O que está a montante do transformador só faz ao armário deste.

Em regime TN, como não há necessidade da proteção diferencial, as proteções magnetotérmicas são suficientes. No regime IT terá de ser feita a adaptação com os CPI.

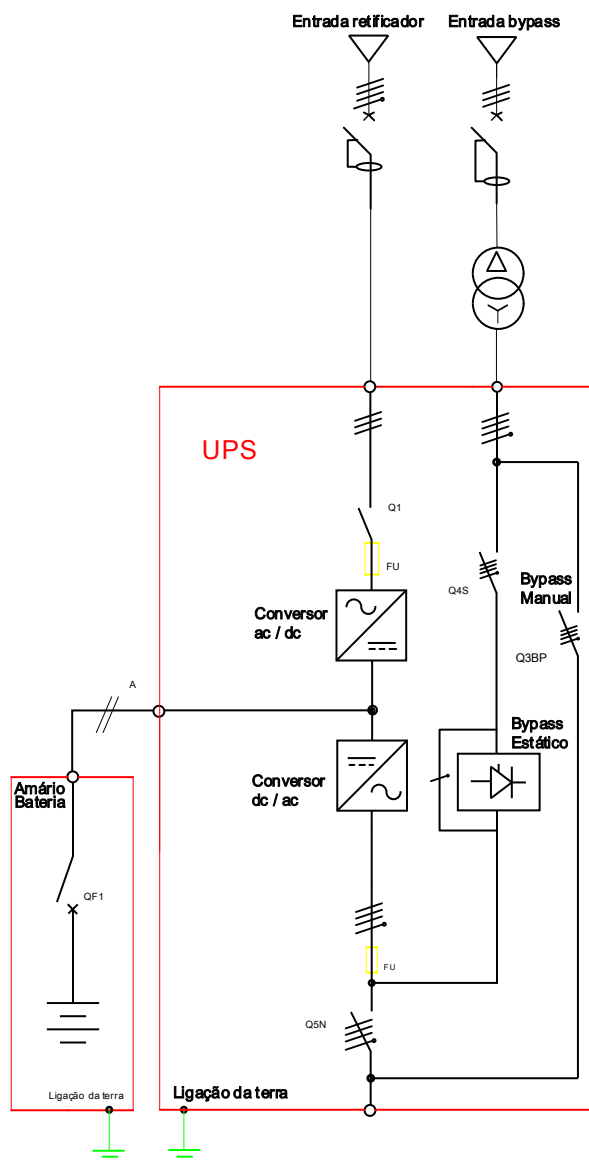


Figura 5-3 UPS de redes separadas com transformador.

Na figura 5-4 verifica-se que o neutro para a carga provém do ramo do *bypass*, mas deriva no ponto comum do retificador e não existe qualquer isolamento galvânico. Este conflito de neutros, no caso de redes separadas nunca permite a aplicação de dois diferenciais em cada ramo. Na prática, na montagem indicada na Figura 5-4, o neutro vem pelo ramal de alimentação ao retificador e vai ligar ao ponto médio do secundário do transformador de isolamento da rede do *bypass*.

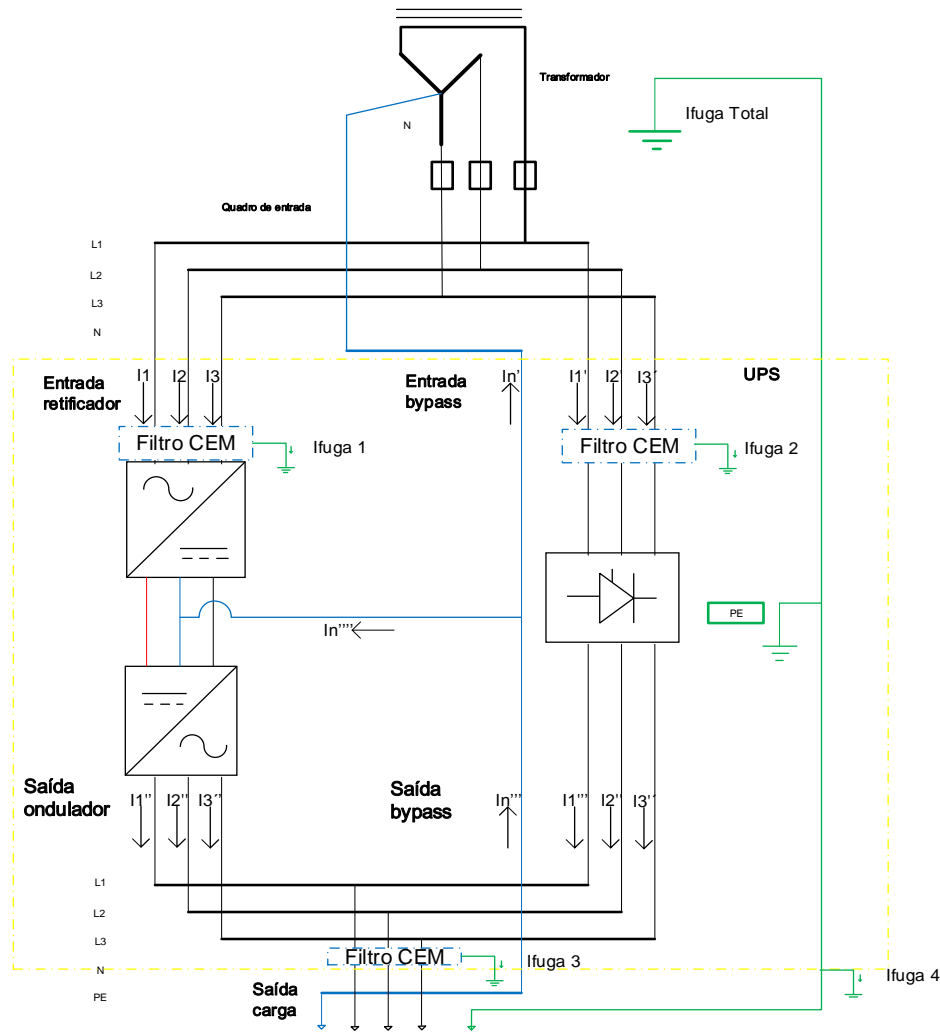


Figura 5-4 Diagrama multifilar UPS de redes separadas.

Na Figura 5-4 também se observam filtros de CEM nas entradas e saídas da UPS. Pela constituição e modo de funcionamento infere-se que há uma corrente de fuga a altas frequências que não é falha, mas sim característica construtiva e para cumprimento normativo.

Pode-se afirmar que a corrente de fuga provocada pelos referidos filtros se pode resumir à equação 5.1:

$$I_{fuga} = I_{fuga1} + I_{fuga2} + I_{fuga3} + I_{fuga4} \quad (5.1)$$

Onde :

- I_{fuga} - soma das correntes de fuga;
- I_{fuga1} - corrente de fuga do filtro CEM da rede do retificador;
- I_{fuga2} - corrente de fuga do filtro CEM da rede do *bypass*;
- I_{fuga3} - corrente de fuga do filtro CEM da saída da UPS;
- I_{fuga4} - corrente de fuga captada pelo armário da UPS (Gaiola de “Faraday”).

Na Figura 5-5 observa-se a ligação sem transformador de *bypass* na entrada sendo que nesta situação em caso de falha momentânea ou permanente o neutro a montante da UPS não garante às cargas e à UPS uma referência elétrica confiável.

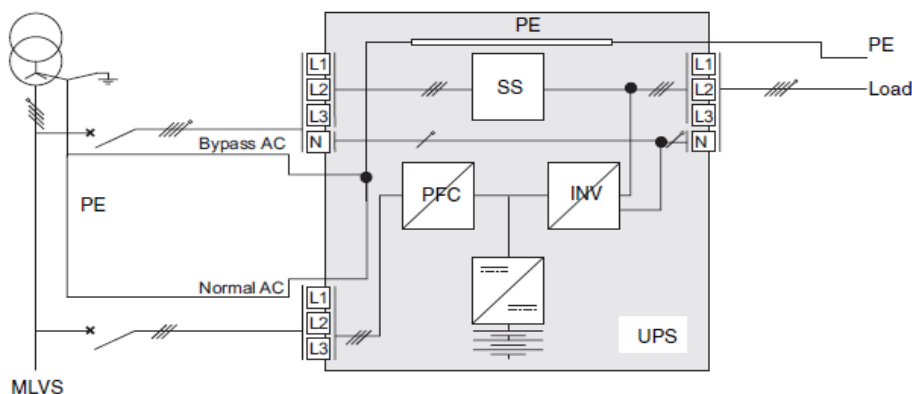


Figura 5-5 Esquema de ligação de UPS sem proteção diferencial.

A aplicação do transformador na rede do *bypass*, Figura 5-6, além de garantir a compatibilidade da unidade com proteção diferencial às duas redes de entrada para um regime de terras TT ou TN-S, também garante que numa falha momentânea ou permanente do neutro, as cargas a montante e a UPS não ficam sem referência elétrica. Registam-se, assim, menos avarias nos equipamentos e disparos intempestivos na instalação a jusante.

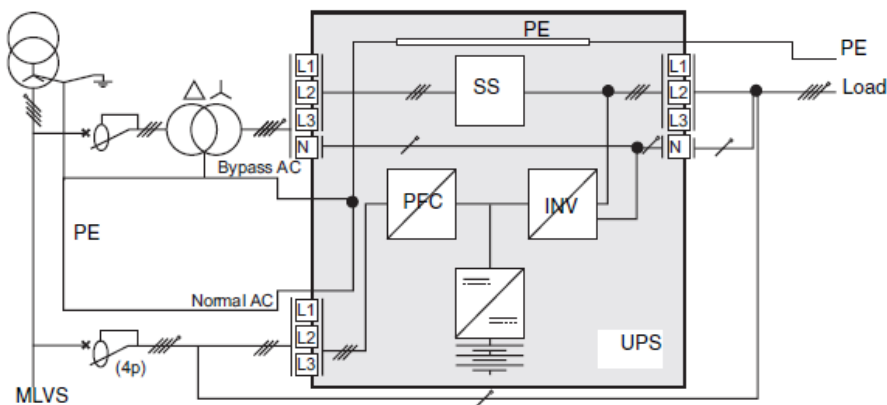


Figura 5-6 Esquema de ligação de UPS com proteção diferencial.

No regime TN-S deve-se recalcular a malha de defeito a partir deste ponto da instalação caso a proteção às pessoas seja efetuada com proteções magnetotérmicas (Figura 5-7).

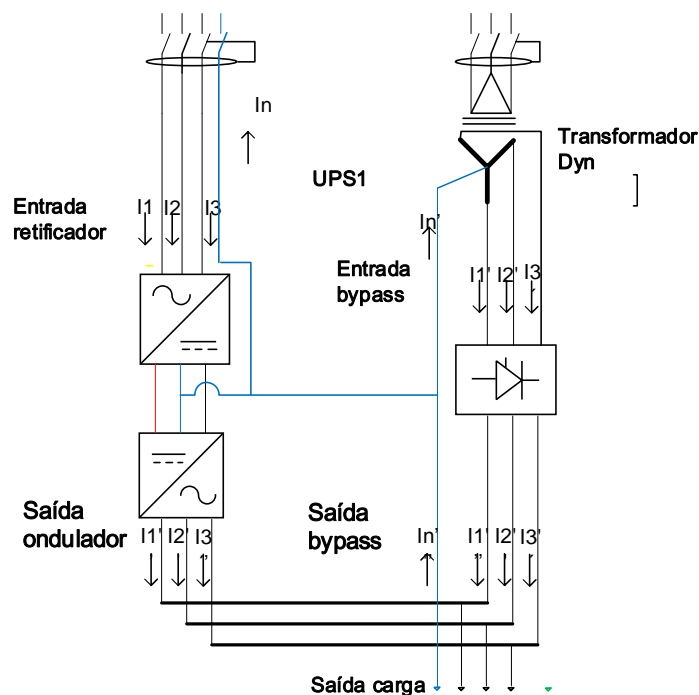


Figura 5-7 UPS redes separadas com transformador.

5.2 UPS FUNCIONAMENTO EM PARALELO

As UPS podem ser associadas em paralelo redundante ou de potência, sempre que se pretenda uma maior disponibilidade ou maior potência.

5.2.1 UPS EM PARALELO COM ALIMENTAÇÕES INDEPENDENTES

O desafio no que respeita à proteção das pessoas nesta configuração aumentou, uma vez que o neutro de cada rede de *bypass* conflui a jusante das UPS, ou seja, a soma vetorial de cada componente diferencial é diferente de zero (Figura 5-8). O esquema apresentado na Figura 5-8 é claramente incompatível com um correto e adequado funcionamento nos regimes TT ou TN-S.

Para esta arquitetura trabalhar em TT tem estar de acordo com esquema da Figura 5-8. Se for para funcionar em TN não necessita da proteção diferencial a montante, mas em IT, obriga a colocar CPI combinados.

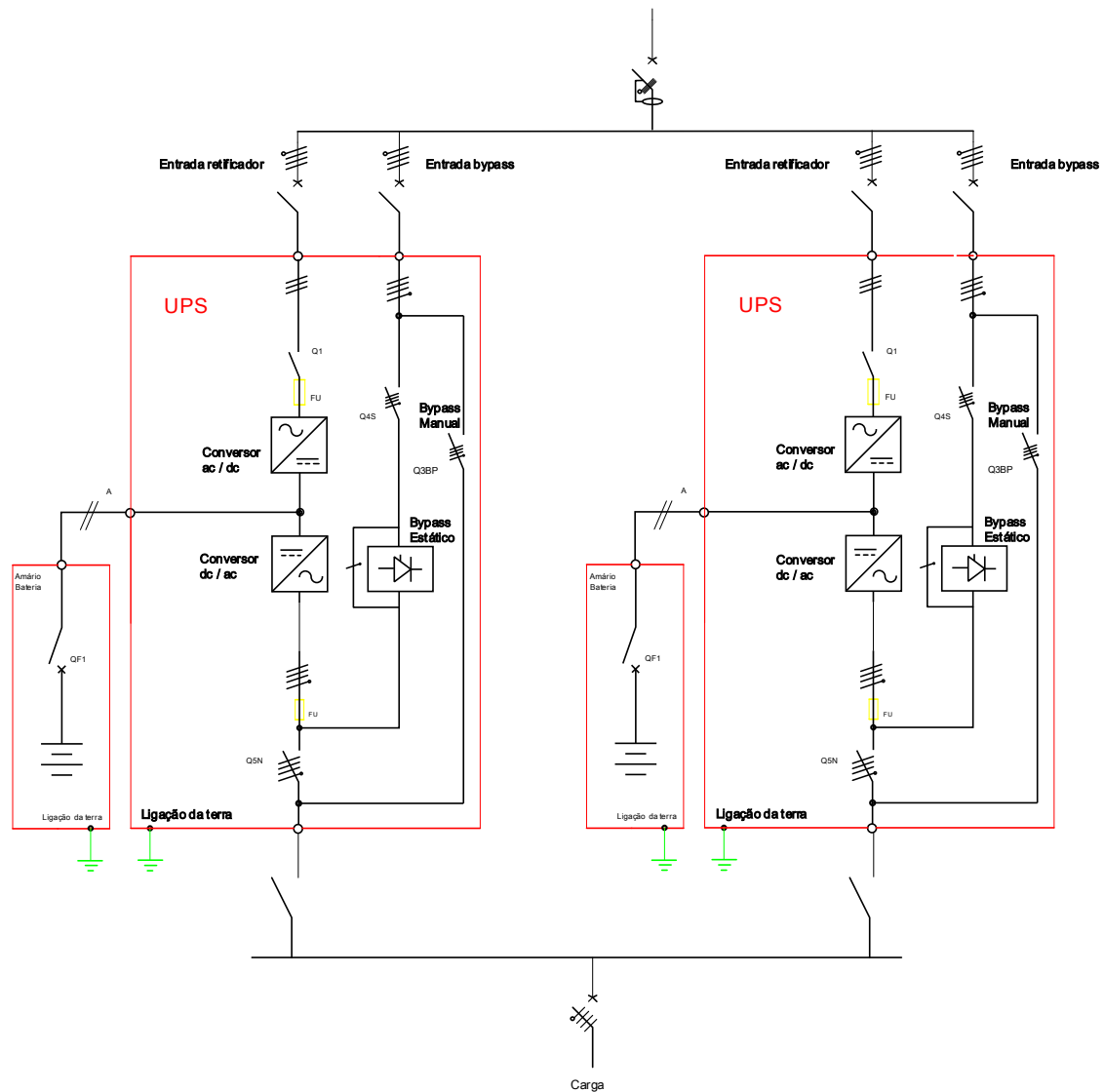


Figura 5-8 Esquema de ligação de UPS em paralelo com alimentações independentes.

Na Figura 5-9 observa-se o esquema multifilar da configuração com transformador na entrada.

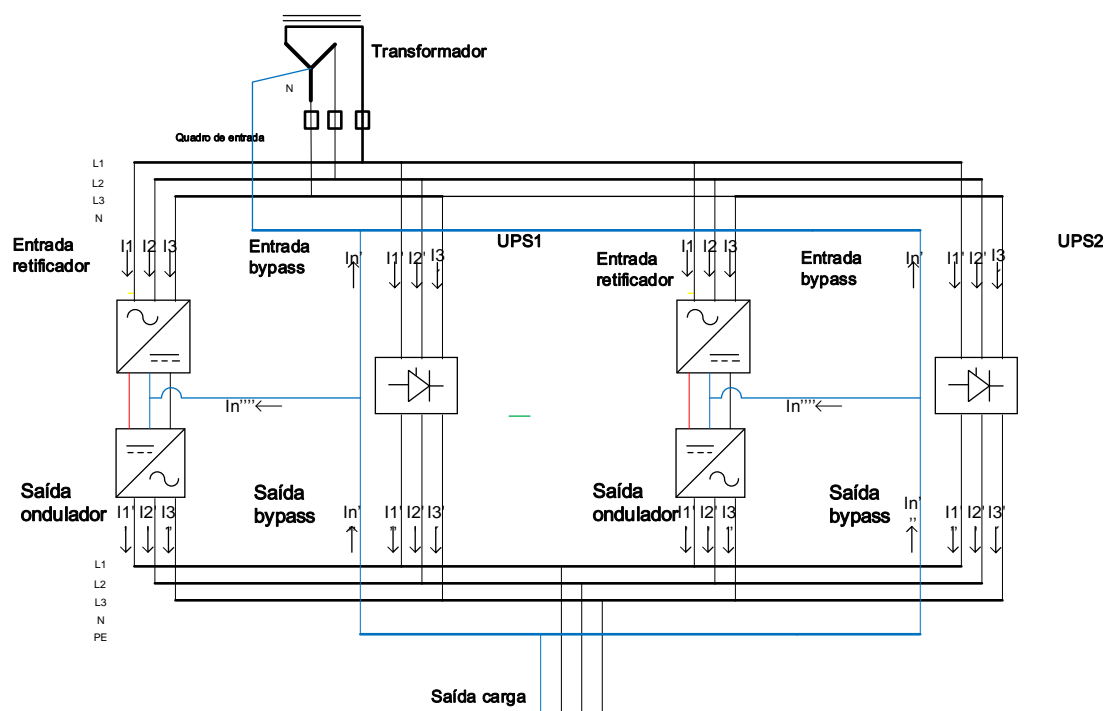


Figura 5-9 Esquema de ligação de UPS em paralelo com alimentações independentes e transformador na entrada.

5.2.2 UPS EM PARALELO COM ALIMENTAÇÕES AO BYPASS COMUM

De acordo com o apresentado no esquema de ligações da Figura 5-10 não se registava o problema se fossem UPS tradicionais tal como no esquema de UPS apresentado na Figura 5-1. Para a atual tecnologia das fontes socorridas em regime TT obriga a aplicação de transformadores de isolamento.

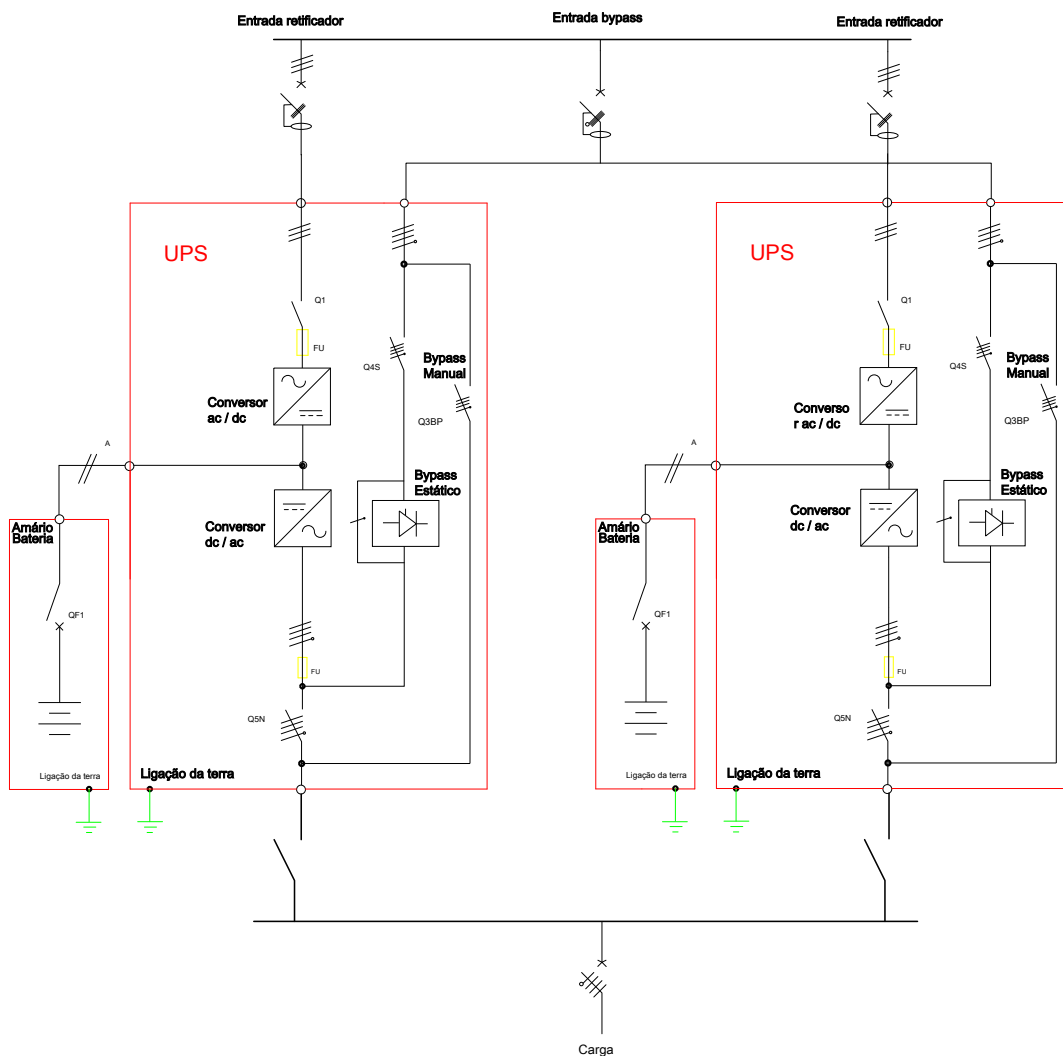


Figura 5-10 Esquema de ligações com duas UPS em paralelo com alimentações *bypass* comum.

5.2.3 UPS EM PARALELO COM *BYPASS* MANUAL EXTERNO

Na montagem expressa na Figura 5-11, o que difere da arquitetura anterior é a existência de um *bypass* externo que permite retirar de serviço e mesmo fisicamente as UPS do local de instalação sem que a carga seja interrompida.

As considerações aos vários regimes de terras são as mesmas do ponto 5.2.2 no que respeita à proteção das pessoas em regime de terras TT.

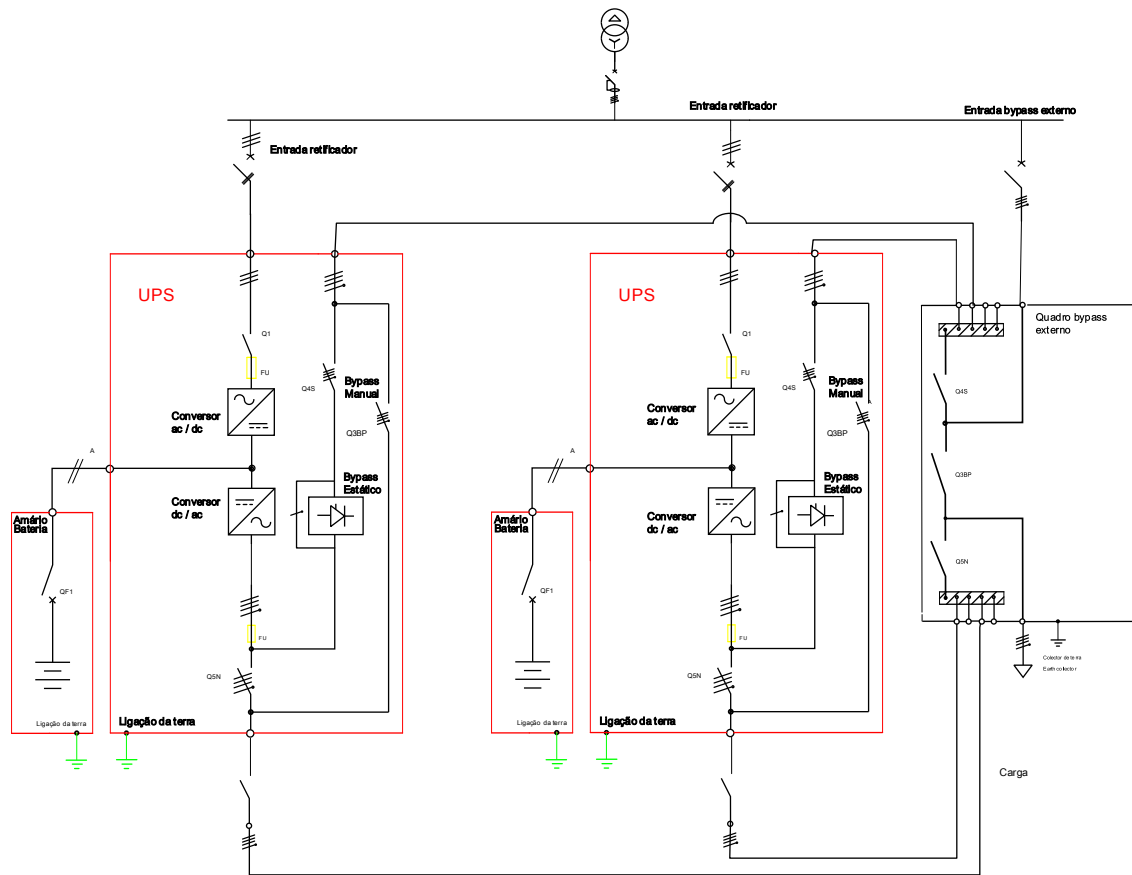


Figura 5-11 Esquema de ligações de UPS em paralelo com *bypass* manual externo.

Capítulo 6

CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo desenvolvido: duas UPS de 300 kVA em paralelo com bypass manual externo.

São, igualmente, apresentadas as medições, os esquemas de ligação e o diagnóstico de problemas para o caso de estudo com apresentação de propostas de solução.

6. CASO DE ESTUDO

O presente caso de estudo ilustra um sistema de duas UPS redundantes, protegidas por disjuntores diferenciais, o sistema encontra-se instalado num edifício de serviços. A instalação elétrica foi projetada em regime TT e no seu funcionamento normal não permite que os dispositivos diferenciais de proteção das UPS permaneçam ligados, neste caso de estudo apresenta-se a abordagem realizada à instalação com vista à sua análise/resolução.

6.1 OBJETIVO

Neste capítulo serão apresentados alguns exemplos em que as correntes de fuga podem ser geradas de diversas formas em UPS, desde as provocadas pelos filtros de compatibilidade eletromagnética, pelos harmónicos até às arquiteturas mais complexas.

A instalação pela sua arquitetura permite o estudo das correntes geradas pelos filtros CEM e, também, a incompatibilidade de proteções diferenciais num regime de terras TT a duas UPS ligadas em paralelo redundante.

Este sistema é constituído por duas UPS de 300 kVA ligadas em paralelo redundante (N+1), com um *bypass* externo, como se pode observar Figura 6-1 e no esquema de ligações da Figura 6-7, que alimentam a rede estabilizada de um edifício de serviços localizado na Maia. Trata-se de uma instalação em regime de neutro TT.



Figura 6-1 Unidades de alimentação ininterruptas, UPS1 e 2 de 300 kVA.

No projeto foram consideradas, tal como indicam as RTIEBT, proteções diferenciais em cada ramo de alimentação. No momento do arranque da instalação foi necessário desativar as proteções diferenciais porque atuavam e não permitiam o funcionamento do sistema.

6.2 FERRAMENTAS

Para a medição das correntes de fuga foram utilizados o analisador de energia *Fluke 435*, uma pinça amperimétrica de alta sensibilidade e um osciloscópio da *Tretoniks*.

A Figura 6-2 mostra o osciloscópio *Tretoniks*, ligado a um toro de alta sensibilidade, a medir as fugas da UPS1.



Figura 6-2 UPS1 medições com osciloscópio *Tretoniks*.

Na Figura 6-3 a pinça amperimétrica *Fluke 360* mede a corrente de fuga nas terras das entradas das UPS e do *bypass* externo.



Figura 6-3 Pinça amperimétrica aplicada na terra da UPS1.

A Figura 6-4 apresenta o analisador de energia *Fluke 435* a registar as correntes e tensões das entradas das UPS 1 e 2. Este equipamento de medida também efetuou por meio de um toro abraçando os condutores ativos as medições das correntes de fuga nas entradas das UPS e *bypass* (Figura 6-5).



Figura 6-4 *Fluke 435* aplicado na entrada da UPS1.

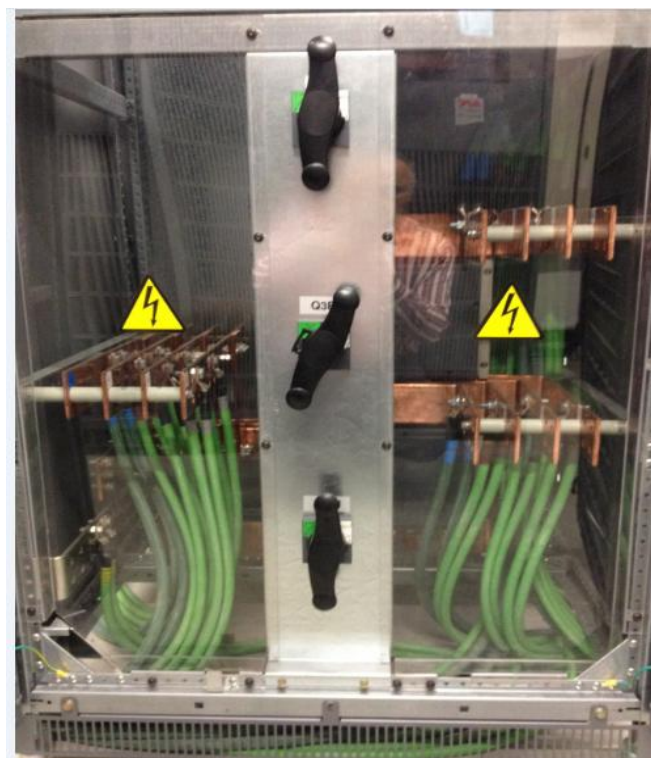


Figura 6-5 Vista frontal do quadro de *bypass* externo.

A Figura 6-6 apresenta a proteção diferencial desligada por deficiente ligação e correntes de fugas elevadas.

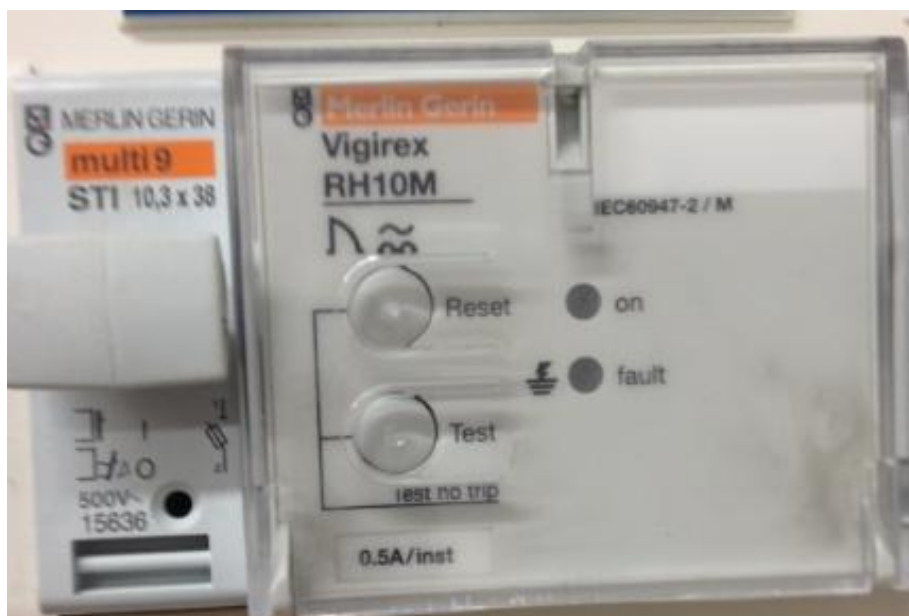


Figura 6-6 Dispositivo diferencial do tipo Vigirex UPS1 (desligado).

6.3 METODOLOGIA

Pela impossibilidade de obter estas medições, através de um toro especial, com imunidade e sensibilidade suficiente, foram efetuadas medições nas terras e em todos os condutores ativos com um toro normal. Os valores obtidos pelo conjunto deste toro e aparelho de medida estão sujeitos a um erro de medida.

Como metodologia foram medidas as correntes nos condutores PE aos terminais dos retificadores de cada UPS e *bypass* manual externo com o osciloscópio da *Tretoniks*, com uma pinça amperimétrica *Fluke 360* e com um toro ligado ao *Fluke 435*, abraçando todos os condutores ativos, na entrada de cada UPS e *bypass* externo.

6.4 DIAGRAMA DE LIGAÇÕES

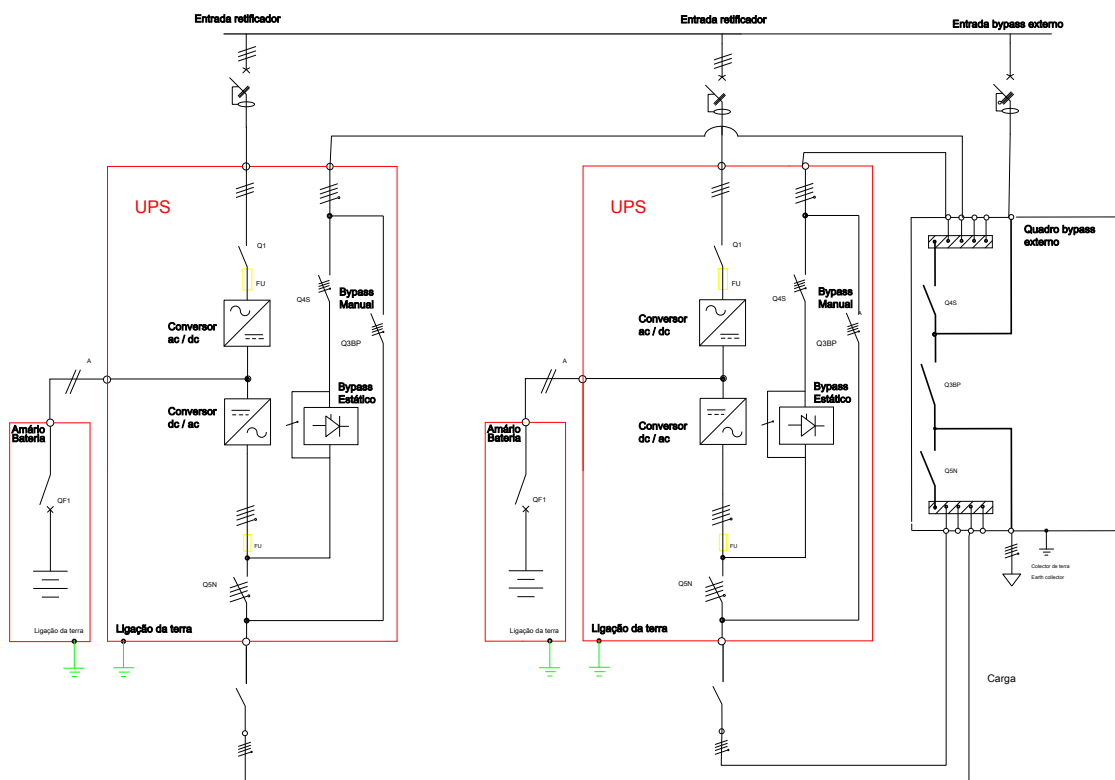


Figura 6-7 Esquema das UPS em paralelo com alimentação e *bypass* externo.

6.5 MEDIÇÕES

Com alguma margem de erro, estimada em 10%, uma vez que o toro não é o adequado no que diz respeito à imunidade e sensibilidade, pode-se verificar, na Tabela 6-1, que a corrente de fuga na entrada do retificador da UPS1 é elevada.

Tabela 6-1 Corrente RMS de fuga no retificador UPS1

Somatório vetorial IL1, IL2, IL3 (RMS)	Somatório vetorial IL1, IL2, IL3 (Pico)
(A)	(A)
4	10

Na Figura 6-8 é possível verificar que o valor da corrente de fuga, registado com a pinça amperimétrica no condutor de terra da UPS1, é muito próximo da soma vetorial resultante da medição com um toro nos condutores ativos.



Figura 6-8 Corrente RMS de fuga no condutor terra da UPS1.

O fator de crista (equação 6.1) com o valor de 2,5 denota a presença elevada de frequências diferentes da fundamental. Facto também explicado pelo elevado conteúdo harmónico. Sabendo que a onda de corrente sinusoidal só transporta a componente fundamental e que quando a esta são somadas as outras componentes harmónicas fica deformada como se pode observar na Figura 6-9.

$$\text{Fator de Crista} = \frac{I_{pico}}{I_{rms}} \quad (6.1)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{I_{h1}^2 + I_{h2}^2 + \dots + I_{hn}^2} \quad (6.2)$$

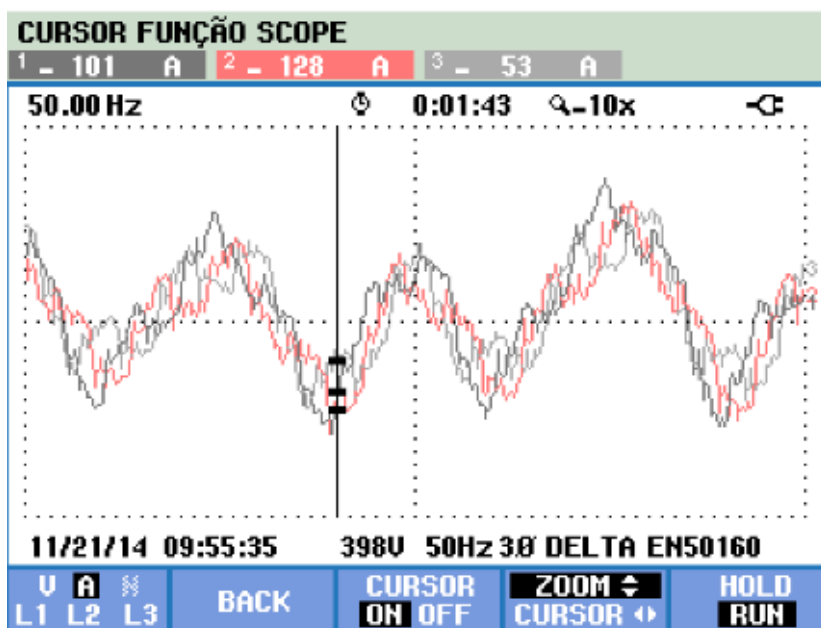


Figura 6-9 Forma de onda da corrente na entrada da UPS1.

Nas Figura 6-10 e Figura 6-11 observa-se na entrada do retificador da UPS1 que, apesar da baixa taxa de distorção em tensão, a distorção em corrente provocada pelos harmónicos é elevada. Apesar da UPS em causa ser de última geração, com ponte retificadora que corrige o fator de potência a 1 e limita os harmónicos de corrente a um valor residual com uma carga superior a 40 % da potência nominal, como está a 5% o THDi tem um valor elevado de 50 %.

Este ruído harmónico também contribui para um disparo antecipado das proteções pelo aquecimento gerado pelo efeito pelicular.

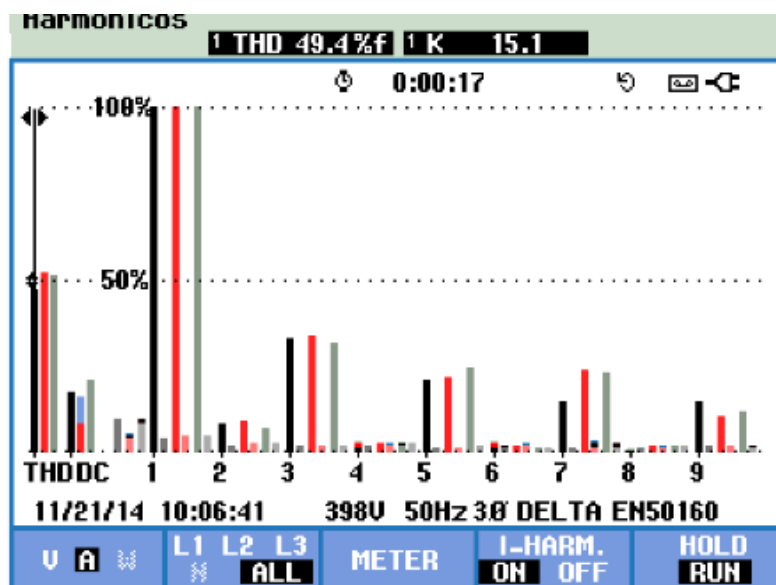


Figura 6-10 THDi na entrada da UPS1.

As UPS estão localizadas junto ao transformador MT / BT a THDv. Tal é aceitável tendo em conta a norma NPEN 50160 [36].

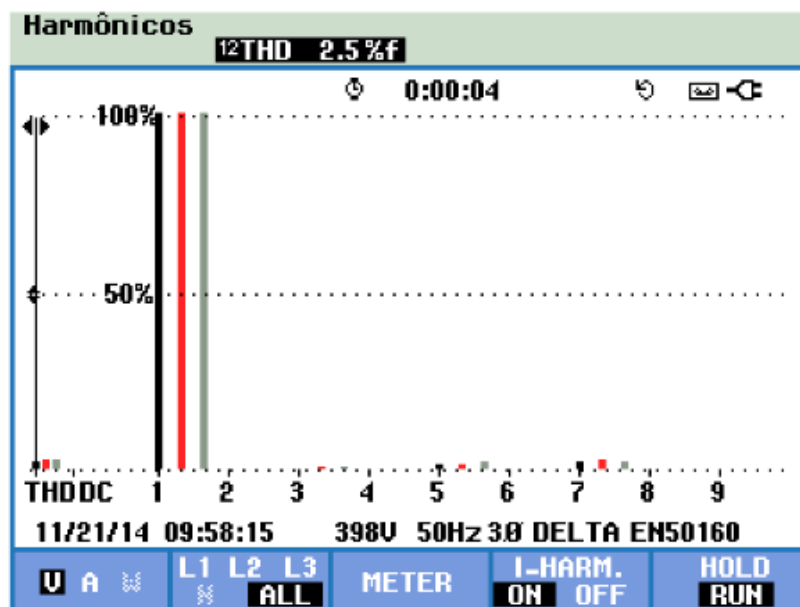


Figura 6-11 THDv na entrada da UPS1.

Na tabela 6-2, as medições indicam uma corrente de fuga resultante da soma vetorial da alimentação ao *bypass* externo com algum significado, 8 A, resultado da falta de adaptação da instalação com os transformadores.

Tabela 6-2 Corrente RMS de fuga no *bypass* externo

Somatório vetorial IL1, IL2, IL3, N (RMS)	Somatório vetorial IL1, IL2, IL3, N (Pico)
(A)	(A)
8	17

Como o retificador da UPS já faz a compensação do fator de potência o desfasamento é residual (Figura 6-12).

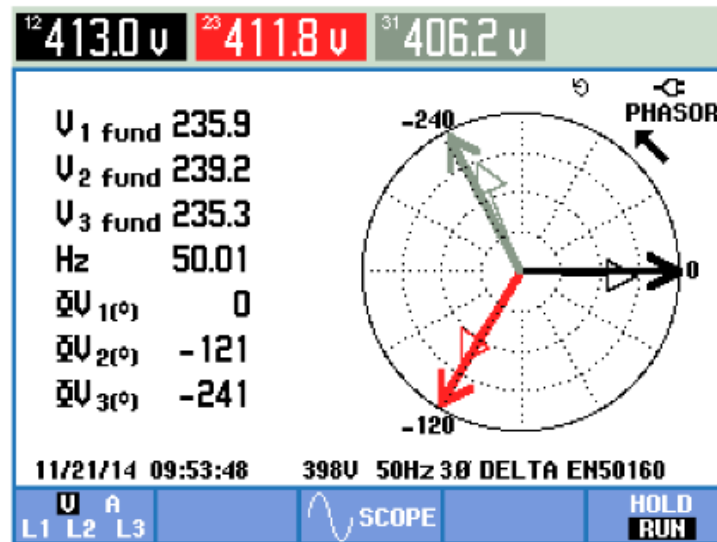


Figura 6-12 Fator de potência na entrada da UPS1.

Na Figura 6-13 é perceptível algum ruído de alta frequência gerado pela comutação da eletrônica da UPS e descarregado pelos filtros CEM para a terra na UPS1.

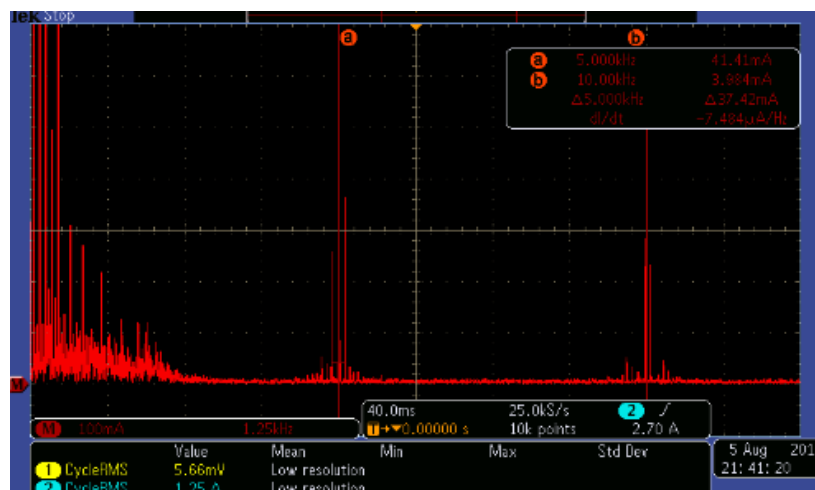


Figura 6-13 Intensidade de corrente no condutor de proteção nas frequências de 5 e 10 kHz.

Na Figura 6-7 encontra-se representado o esquema geral do quadro das UPS, onde é possível observar as proteções diferenciais em todos os ramos de alimentação que se encontram desligadas.

Como não foi feita a adaptação com transformadores, já referido, as proteções não funcionam, porque existe um conflito entre os condutores de neutro e as proteções diferenciais instaladas que não são adequadas para a proteção deste tipo de equipamentos.

6.6 ANÁLISE AOS RESULTADOS OBTIDOS

Verificou-se que as UPSs provocam correntes de fuga relativamente elevadas comparativamente aos valores de média sensibilidade que é habitualmente existem para a proteção de pessoas e equipamentos.

Foi portanto possível verificar o porquê das proteções diferenciais estarem desativadas:

- Têm uma sensibilidade mais baixa que a corrente de fuga de cada retificador;
- Por não haver isolamento galvânico entre o *bypass* e o retificador. A soma vetorial das correntes é sempre diferente de zero, como tal nunca se pode aplicar este tipo de proteção em cada ramo de UPS e no caso do paralelo ainda se agrava o conflito de neutros nos vários ramos.

Verificou-se que o desequilíbrio vetorial nas entradas trifásicas dos retificadores deve-se à componente fundamental da corrente e nas frequências mais elevadas é resultante do ruído harmónico gerado pelo retificador devido à comutação dos semicondutores de potência.

Foi também possível verificar que apesar das UPS de nova geração possuírem retificadores de tecnologia *Power Factor Correction*, PFC, se as mesmas se encontrarem num baixo regime de funcionamento a THDi pode ainda ser problema para as instalações.

Pode ser verificada uma corrente de fuga efetiva de 4 A em cada retificador das UPS. Este valor deve-se à conjugação de dois fatores:

- Corrente escoada pelos filtros CEM resultante das tensões de alta frequência. Não é um defeito, mas uma característica do funcionamento dos filtros de compatibilidade eletromagnética. Filtros cuja colocação é obrigatória para que o ruído a altas frequências não se propague pela instalação elétrica;
- Conflito de correntes entre o retificador e o *bypass* devido ao facto de não existir isolamento galvânico entre estes dois subconjuntos de eletrónica.

Constatou-se ainda que o valor da corrente de fuga nos retificadores, medida no condutor terra, e a soma vetorial das correntes nas três fases têm um valor idêntico, o que mostra que a corrente de fuga é gerada pelos filtros CEM.

Foi aferida durante a realização dos ensaios uma corrente de 8 A na entrada do *bypass* devida à falta de isolamento galvânico entre o neutro e as entradas dos retificadores.

Podemos verificar que o fator de crista, quociente entre o valor da corrente de pico e o valor RMS da corrente, tem um valor muito superior a 1,4142 o que mostra que o somatório das correntes em frequências superiores a 50 Hz apresenta um valor significativo.

Foi portanto verificado que a aplicação dos dispositivos de proteção diferencial terá de ser diferente da atualmente utilizada na instalação elétrica, uma vez que os dispositivos deverão ser imunes a altas frequências e permitir regulações em amplitude e tempo para um correto funcionamento.

Como se trata de uma instalação em funcionamento não foi possível, durante a realização deste trabalho, promover alterações de melhoria (as mesmas são apresentadas nas propostas de solução).

6.7 PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

De seguida são apresentadas três propostas de solução para os problemas detetados no caso em estudo e designadas respetivamente por solução 1, 2 e 3.

6.7.1 SOLUÇÃO 1

Nesta instalação, para ser garantida a proteção das pessoas, no regime de terras TT, deve ser aplicada uma proteção diferencial a montante do sistema. Com a sua instalação é assegurada a proteção de pessoas, como apresentado na Figura 6-14. Existem, nesta proposta de solução, algumas considerações a ponderar:

- Não há conflitos de neutros nas três entradas;
- A proteção das pessoas é assegurada;
- No caso de um disparo do diferencial geral as cargas a jusante das UPS ficam a funcionar com um neutro só ligado à terra pela reatância dos condensadores dos filtros CEM;
- Se houver uma perda de isolamento numa UPS coloca-se em causa a disponibilidade do sistema;
- Se houver uma fuga numa das UPS dispara a proteção e o sistema perde disponibilidade.

Esta proteção terá de ser adaptada ao tipo de cargas e por informação do fabricante a corrente de fuga pode chegar aos 6 A.

Sendo o local considerado seco e só acessível a pessoas qualificadas e/ou instruídas pode ser aplicada a equação 2.1:

$$Ra \times Ia = 50 V$$

Onde :

- Ra é a soma da resistência do elétrodo de terra e do condutor de proteção para as massas (as partes condutoras expostas);
- Ia é a corrente que provoca o funcionamento automático do dispositivo de proteção.

Como a soma das resistências até ao quadro a montante é inferior a 1Ω , poderemos ter, desde que garantida a seletividade a montante, a proteção diferencial com uma sensibilidade em amplitude adequada. Como a zona de funcionamento do dispositivo diferencial RH99 se situa entre os $0,8$ e $1 \times I\Delta n$ o dispositivo diferencial poderá ser regulado a $7,5 A$.

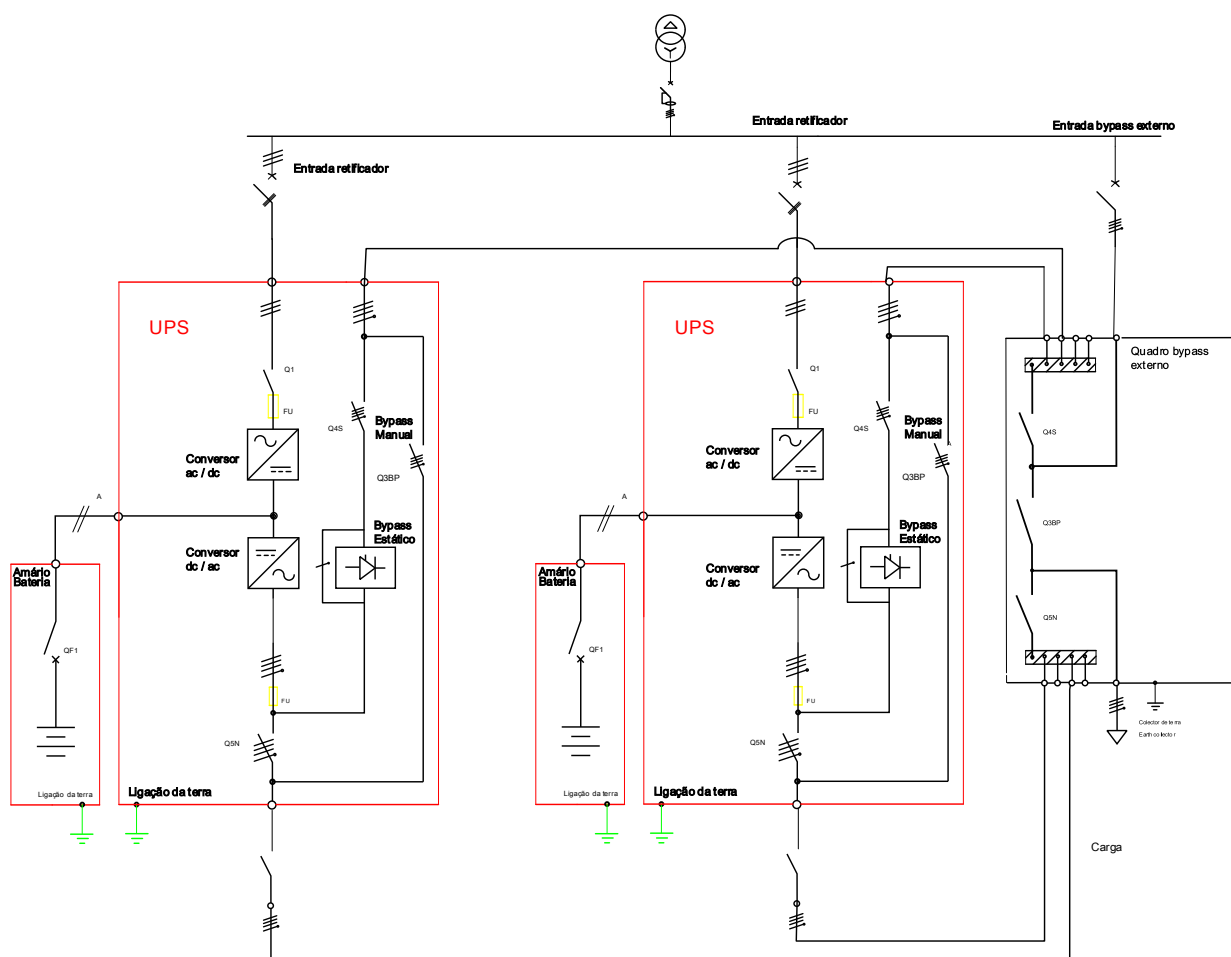


Figura 6-14 Diagrama proposto, quadro montante UPS e bypass.

6.7.2 SOLUÇÃO 2

Em virtude dos elétrodos de terra de serviço e proteção da instalação poderem ser interligadas, uma vez que as suas resistências são inferiores a 1Ω e como as UPS estão num local

de acesso condicionado a pessoas qualificadas e/ou instruídas, deveria ser considerada a manutenção das proteções diferenciais desativadas. Pela impedância da malha e pelos disparadores instalados nas proteções é possível obter a proteção das pessoas na zona das UPS e a jusante destas pelos disparadores dos disjuntores garantindo as correntes e tempos de disparo. Desta forma, aumenta-se a disponibilidade do sistema ininterrupto e continua-se a garantir a proteção das pessoas.

6.7.2.1 VERIFICAÇÃO/VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO 2

A instalação em estudo esquematicamente representada na Figura 6-15 é alimentada através de um quadro geral de baixa tensão, QGBT, a partir do qual é efetuada a alimentação a um quadro intermédio, QTC3 do qual é alimentado o quadro de UPS.

A canalização instalada entre o QGBT e o QTC3 é realizada a cabo do tipo XG monopolar de $4 \times 300\text{mm}^2$ de secção por fase e uma secção de $2 \times 300\text{mm}^2$ no condutor de neutro e $2 \times 240\text{mm}^2$ no condutor PE, esta canalização apresenta um comprimento de aproximadamente 270m.

A canalização instalada entre o QTC3 e o QUPS é realizada a cabo do tipo XG monopolar de $2 \times 120\text{mm}^2$ de secção por fase e uma secção de 300mm^2 no neutro, no condutor PE de 120mm^2 , esta canalização apresenta um comprimento de aproximadamente 80m.

As canalizações entre o quadro de UPS e as UPS possuem um comprimento aproximado de 25m e 16m (alimentação retificador 1, 2 e *bypass* externo) respetivamente, são constituídas na alimentação dos retificadores a cabo do tipo XG $2 \times 95\text{mm}^2$ por fase, no caso da alimentação ao *bypass* externo está instalado um cabo do tipo XG $2 \times 95\text{mm}^2$ por fase, 120mm^2 neutro no condutor PE de 95mm^2 .

Na alimentação do QTC3 o disjuntor é do tipo *Masterpact* NW32H1, na alimentação do QUPS está instalado um disjuntor NS630N e na alimentação de cada retificador são do tipo *Compact* NS630N e o do *bypass Compact* NS800N, todos de fabrico *Schneider Electric*.

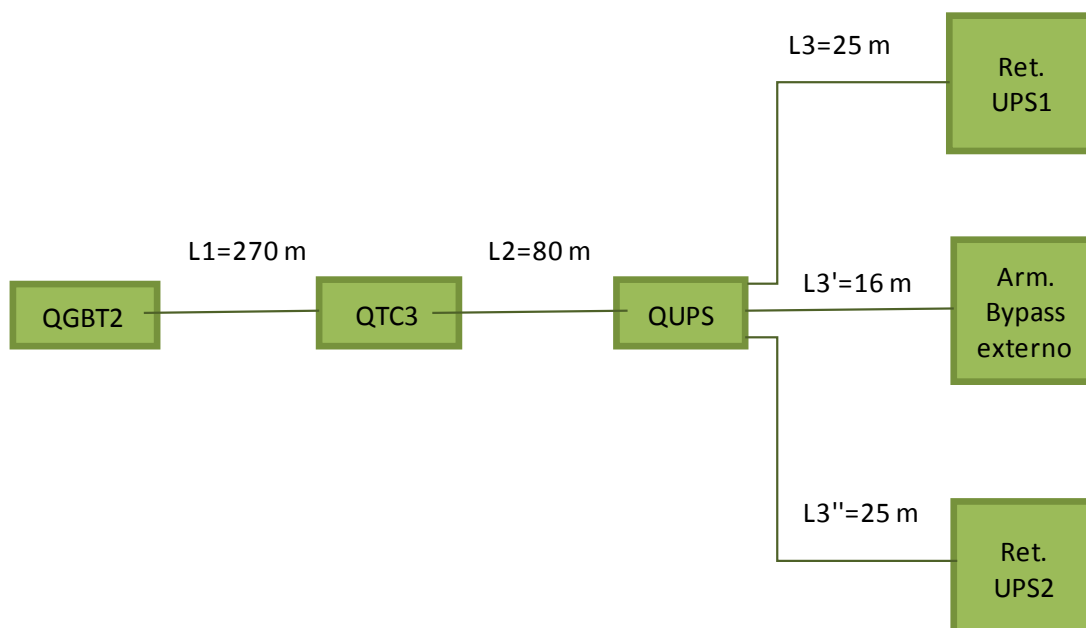


Figura 6-15 Distribuição de energia entre quadros da instalação.

Na Figura 6-16 observam-se as regulações inseridas no bloco disparador do disjuntor, *Compact NS 630N*, dos retificadores das UPS1 e 2.

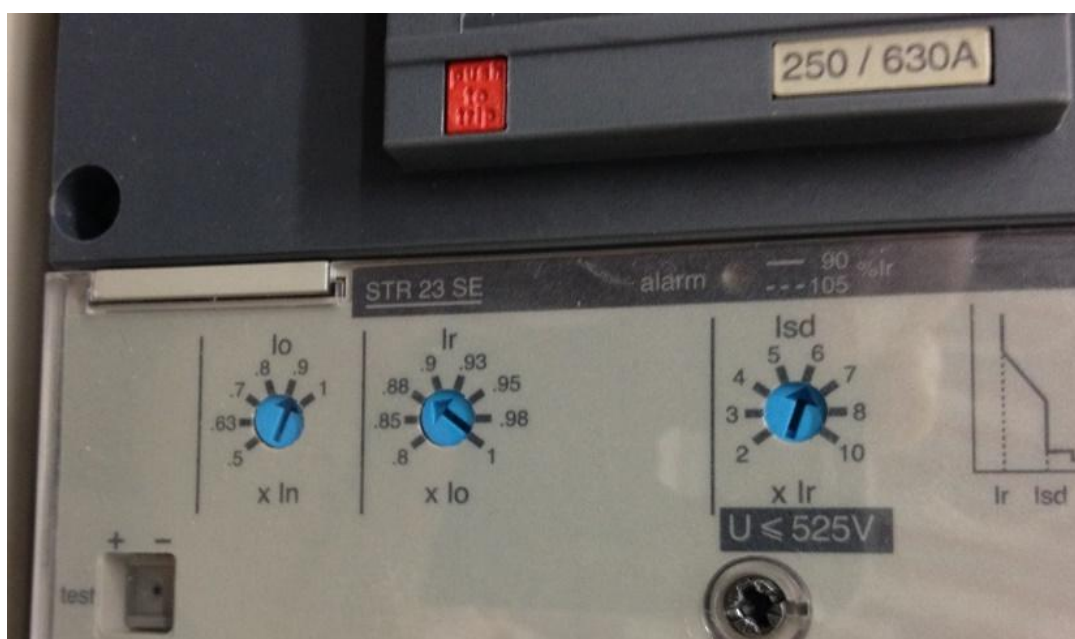


Figura 6-16 Disparador do disjuntor de cada retificador.

De acordo com o catálogo do fabricante *Schneider Electric* este tipo de aparelho dispara em 0,1 s, tempo inferior ao indicado na tabela 41A das RTIEBT [1], que é de 0,4 s, considerando o valor de tensão U_o de 230 V, conforme reproduzido na Tabela 6-3, para proteção de pessoas.

Tabela 6-3 Tabela 41A da parte 4 das RTIEBT- tempos de corte para $U_L = 50 V$

Tempos de corte máximos em regime TN	
Tensão nominal U_o em V	Tempo de corte t em s
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

De acordo com o indicado em [65], o cálculo dos comprimentos máximos protegidos, na proteção de pessoas contra contactos indiretos no esquema TN, é calculado de acordo com as expressões indicadas nas equações 6.3 e 6.4:

$$I_{fu} = \frac{u \cdot s_f}{[\rho (1 + m) l_{m\acute{a}x}]} \quad (6.3)$$

$$l_{m\acute{a}x} = \frac{u \cdot s_f}{[\rho \cdot (1 + m) \cdot I_{fu}]} \quad (6.4)$$

Em que:

$l_{m\acute{a}x}$ - comprimento máximo do condutor;

I_{fu} - regulação magnética do disjuntor;

u - tensão na origem da instalação;

s_f - secção do condutor de fase;

m - quociente da secção do condutor fase pelo condutor terra (PE);

ρ - resistividade do condutor à temperatura normal de funcionamento.

Na equação 6.4 o valor da tensão na origem da instalação, u , é calculado de acordo com a expressão indicada em 6.5:

$$u = c \cdot U_o \quad (6.5)$$

Onde:

c - fator de tensão na origem do circuito;

U_o - tensão de fase-terra na origem da instalação.

Relativamente ao fator de tensão, c , podemos considerar o valor de 0,95 para as canalizações com origem no QGBT e de 0,8 para canalizações com origem no início no quadro de entrada, QE.

No caso das canalizações cuja origem é diferente das acima indicadas QGBT e QE, deve ser calculada a queda de tensão (máxima) susceptível de ocorrer na canalização a montante do quadro que as alimenta, tendo em conta a corrente estipulada dos dispositivos que as protegem e verificados os comprimentos máximos das canalizações de acordo com a regra do triângulo em derivações sucessivas [65].

A verificação dos comprimentos máximos protegidos na proteção de pessoas contra contactos indirectos nas instalações realizadas de acordo com o regime de neutro TN, as equações 6.3 e 6.4 pressupõe um defeito fase-terra localizado no ponto mais afastado do circuito. E a intensidade de corrente, I_{fu} , o valor da corrente de funcionamento do dispositivo de proteção para o tempo adotado na normalização internacional, tempo de corte máximo, t_{pp} (ver Tabela 6-3), em função da tensão limite convencional U_L para o local, para a tensão fase-terra $U_o = 230 V$.

Considerando a configuração da instalação em estudo, QGBT, QTC3, QUPS e retificadores 1, 2 e *bypass*, tem-se, então, duas alimentações entre quadros e, por último, a alimentação aos circuitos terminais, nesta situação o fator de tensão, c representará o somatório das quedas de tensão máximas susceptíveis de ocorrer na instalação nos diferentes troços a montante do quadro onde se encontra o dispositivo de proteção da canalização em análise, de acordo com a equação 6.6.

$$c = 0,95 - \sum_{i=1}^n u_i \quad (6.6)$$

Para o caso em análise a canalização que alimenta QTC3, canalização que alimenta QUPS e canalização que alimenta cada retificador e *bypass*, de acordo com as expressões indicadas em seguida, respetivamente:

$$c = 0,95$$

$$c = 0,95 - [\Delta u_1]; \text{ onde } \Delta u_1 = Z_1 \cdot I_{n1}$$

$$c = 0,95 - [\Delta u_1 + \Delta u_2]; \text{ onde } \Delta u_1 = Z_1 \cdot I_{n1} \text{ e } \Delta u_2 = Z_2 \cdot I_{n2}$$

Em que:

Z - impedância da canalização que limita a corrente de defeito;

$\Delta u_1, \Delta u_2$ - queda de tensão nos troços 1 e 2;

I_{n1}, I_{n2} - intensidade de regulação dos dispositivos de proteção 1 e 2.

A impedância (resistência) dos circuitos em defeito pode ser obtida através da equação 6.7 para canalizações com constituídas por condutores de secção $\leq 120 \text{ mm}^2$ [65].

$$Z_{max} = R_{max} = \rho_f \cdot \frac{l_{max}}{s_f} + \rho_{PE} \cdot \frac{l_{max}}{s_{PE}} \quad (6.7)$$

Onde:

l_{max} - comprimento máximo do condutor;

ρ_f - resistividade do condutor de fase;

s_f - secção do condutor de fase;

ρ_{PE} - resistividade do condutor PE;

s_{PE} - secção do condutor PE.

Nos troços em que a secção dos condutores de neutro ou de fase for superior a 120 mm^2 terá de se proceder às correções indicadas na Tabela 6-4.

Tabela 6-4 Impedância dos condutores do circuito em defeito

Secção dos condutores s em mm^2	Impedância dos circuitos em defeito Z_s
≤ 120	$Z_s \approx R_s$
150	$Z_s \approx 1,15 R_s$
185	$Z_s \approx 1,20 R_s$
240	$Z_s \approx 1,25 R_s$
300	$Z_s \approx 1,30 R_s$

O valor da resistividade considerado é, em regra, o mesmo que o utilizado no dimensionamento das canalizações para a queda de tensão em funcionamento normal e não o usado no dimensionamento de canalizações a curto-circuito. Esta diferença deve-se a que na proteção de pessoas contra contactos directos, os dispositivos de proteção devem atuar num tempo muito inferior ao utilizado como base na proteção contra curto circuitos. Os valores considerados na presente proposta de solução estão indicados na Tabela 6-5. Os valores apresentados na IEC

60909-0 [67] foram publicados após a data de publicação das RTIEBT [1]. Assim, no caso de estudo presente serão utilizados os valores da norma IEC 60909-0 [67].

Tabela 6-5 Resistividade dos condutores na proteção de pessoas R(70°)

Referência	Cobre	Alumínio
RTIEBT	$0.0225 \Omega mm^2/m$	$0.036 \Omega mm^2/m$
IEC 60909-0	$0.023 \Omega mm^2/m$	$0.037 \Omega mm^2/m$

Considerando a configuração da instalação apresentam-se os valores de impedância (Tabela 6-6) de acordo com a equação 6.7 e valores de impedância da Tabela 6-4.

Tabela 6-6 Impedância dos condutores na malha de defeito

Circuitos	Nº	Condutor de fase, secção em mm^2	Condutor PE, secção em mm^2	Impedância em Ω
QGTB – QTC3	1	4x300	2x240	0.0069
QTC3 - QUPS	2	2x120	120	0.0333
QUPS - Retificador 1	3a	2x95	95	0.0031
QUPS - Retificador 2	3b	2x95	95	0.0031
QUPS - <i>Bypass</i>	3c	2x95	95	0.0019

As quedas de tensão a considerar na aplicação da regra do triângulo em derivação sucessiva, obtidas de acordo com as impedâncias do circuito em situação de defeito, são as indicadas na Tabela 6-7.

Tabela 6-7 Queda de tensão por troços da instalação

Circuitos	Nº	Queda de tensão	c	U_0	u
		(%)		(V)	(V)
QGTB - QTC3	1		0,95	230	219
QTC3 - QUPS	2	$\Delta u_1 = 0,0384$	0.9116	230	210
QUPS - Retificador 1	3a	$\Delta u_2 = 0,0912$	0.8204	230	187
QUPS - Retificador 2	3b	$\Delta u_2 = 0,0912$	0.8204	230	187
QUPS - <i>Bypass</i>	3c	$\Delta u_2 = 0,0912$	0.8204	230	187

Os dispositivos de proteção instalados apresentam os valores de intensidade de corrente estipulada e de regulação de acordo as indicadas na Tabela 6-8 onde I_r designa a intensidade regulada para a proteção da corrente de serviço do circuito em A e I_{sd} representa o valor de intensidade regulado para a atuação em defeito de curto-circuito em kA.

Tabela 6-8 Regulações dos dispositivos de proteção instalados nos quadros elétricos

Circuitos	Nº	Dispositivos de proteção	I_n	I_r	I_{sd}
			(A)	(A)	(kA)
QGTB - QTC3	1	NW32H1	3200	1280	$1,5I_r = 1,92$
QTC3 - QUPS	2	NS630N	630	630	$6 I_r = 3,8$
QUPS - Retificador 1	3a	NS630N	630	500	$6 I_r = 3,0$
QUPS - Retificador 2	3b	NS630N	630	500	$6 I_r = 3,0$
QUPS - Bypass	3c	NS630N	630	630	$6 I_r = 3,8$

Com base nos valores de tensão na origem da instalação e, por aplicação da regra do triângulo, obtêm-se os valores teóricos de l_{max} e os valores corrigidos de l_{max} por troço de canalização, conforme apresentado na Tabela 6-9.

Pela análise da Tabela 6-9 pode-se concluir que de acordo com as regulações adotadas para os disparadores magnéticos a garantia de proteção de pessoas estará assegurada.

Tabela 6-9 Cálculo dos comprimentos máximos para os condutores instalados

QUADRO	CIRCUITO	I_{sd}		fase	PE	u	l real	$L_{máx}$ teórico (I_{sd})	$L_{máx}$ corrigido (I_{sd})
	Nº		(A)	(mm ²)	(mm ²)		(m)	(m)	(m)
QGBT	QTC3 - 1	$1,5 I_r$	1920	4x300	2x240	219	270	2310	-----
QTC3	QGUPS - 2	$6 I_r$	3800	2x120	120	210	80	194	171.3
QGUPS	Retif. 1- 3a	$6 I_r$	3000	2x95	95	187	25	166	88
QGUPS	Retif. 2 - 3b	$6 I_r$	3000	2x95	95	187	25	166	88
QGUPS	Bypass - 3c	$6 I_r$	3800	2x95	95	187	16	132	70

Promovendo a variação da regulação dos disparadores dos disjuntores, no que se refere ao disparo em curto-circuito, I_{sd} , entre a gama de valores de $6 I_r$ e $10 I_r$, com exceção do disjuntor do QGBT que se manteve regulado a $1,5 I_r$, obtêm-se os comprimentos máximos reais protegidos das canalizações como se pode observar na Tabela 6-10, respetivamente.

Tabela 6-10 Variação do comprimento máximo protegido das canalizações entre 6 I_r e 10 I_r

QUADRO	CIRCUITO	I_{sd}		I_{sd}		I_{real}	$L_{máx} \text{ corrigido}$ ($I_{sd} a$)	$L_{máx} \text{ corrigido}$ ($I_{sd} b$)
	Nº	(a)	(A)	(b)	(A)	(m)	(m)	(m)
QGBT	QTC3 - 1	1,5 I_r	1920	1,5 I_r	1920	270	2310	-----
QTC3	QGUPS - 2	6 I_r	3800	10 I_r	6300	80	198	98
QGUPS	Retif. 1- 3a	6 I_r	3000	10 I_r	5000	25	119	18
QGUPS	Retif. 2 - 3b	6 I_r	3000	10 I_r	5000	25	119	18
QGUPS	Bypass - 3c	6 I_r	3800	10 I_r	6300	16	52	15

Considerando uma alteração do valor da regulação dos disparadores em situação de curto-circuito verifica-se que para a situação de 6 I_r todas as canalizações se mantêm um comprimento máximo protegido inferior ao seu comprimento real. Na simulação efetuada com as regulações a 10 I_r infere-se que as canalizações de alimentação das UPS e do *bypass* externo não se encontrariam protegidas, no que se refere à proteção de pessoas contra contactos indiretos.

O aumento da secção do condutor PE seria outra solução a conjugar com a regulação dos disparadores dos dispositivos de proteção em caso de necessidade.

A presente solução relaciona diretamente a escolha do regime de neutro das instalações com o seu funcionamento. A adoção do regime de neutro TN em instalações do tipo da do presente caso de estudo mostra-se como muito favorável e menos onerosa de uma forma geral. No caso das UPS evitando os conflitos de neutro e garante-se a proteção de pessoas.

6.7.3 SOLUÇÃO 3

Uma alternativa ao sobredimensionamento do condutor de proteção é a aplicação de um transformador de isolamento *Dyn* a montante e próximo das UPS. Esta solução é mais onerosa visto que para além dos custos de aquisição também têm que se considerar os custos de manutenção e os devidos às perdas do transformador.

Capítulo 7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas dos ensaios efetuados no decorrer da elaboração do caso de estudo. São também apresentadas as principais linhas de orientação para desenvolvimento de trabalhos futuros na área da inserção de UPS em infra-estruturas eléctricas e a sua adequada proteção.

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES GERAIS

Face aos documentos publicados pelos fabricantes pode-se concluir que a informação necessária para fazer um projeto com UPS com proteções diferenciais não é suficiente para que os engenheiros projetistas possam fazer a correta arquitetura e dimensionamento do sistema.

Caso existam duas redes para a disponibilidade ser maior, a adaptação com transformadores, faz com a proteção das pessoas fique garantida pelo diferencial tetrapolar do ramo que não leva o transformador.

Quando a instalação está ou é convertida em regime de terras TN até às UPS é importante ter em atenção as secções dos condutores, nomeadamente as do condutor de proteção PE.

Conclui-se que, para se assegurar a proteção das pessoas em UPS, o técnico de projeto deverá verificar:

1. Se a proteção diferencial é adaptada a este tipo de equipamento, ou seja, imune e se filtra o ruído eletromagnético garantindo a proteção à componente fundamental;
2. Quando a unidade de alimentação tem duas redes independentes é necessário fazer uma adaptação com um transformador de isolamento;
3. Quando há UPS em paralelo tem de haver uma única proteção diferencial a todo o sistema ininterrupto. Verificou-se, em algumas publicações de fabricantes, que incluem transformadores em todos os ramos, que já seria possível colocar proteções diferenciais. Mas, na prática estas proteções não garantem a proteção de contactos indiretos, no armário da UPS, uma vez que o transformador promove a separação galvânica e, consequentemente, cria uma barreira a essa proteção.

Sendo um objetivo deste tipo de sistemas ininterruptos garantir mais disponibilidade a um universo de cargas críticas elevado devem ser ponderados os pontos de falha e consequente proteção das pessoas.

Um regime de terras TN associado a um local técnico condicionado a pessoas qualificadas e instruídas poderá ser uma boa solução. A monitorização da fuga à terra sinalizável no local e remotamente acrescenta segurança e melhora a gestão da manutenção destes sistemas [1].

O regime de terras IT, acarreta um desafio, que bem ponderado, poderá ser também a base para as UPS funcionarem ininterruptamente sem elementos de falha. Mas a redução de impedância causada pelos filtros CEM das cargas e das próprias UPS poderá ser uma dificuldade para encontrar a impedância considerada sem fuga.

Um dos desafios dos fabricantes de UPS e equipamentos de eletrónica de potência é conseguir a classe 2 de isolamento.

Reforça-se, uma vez mais, o que já foi referido, a monitorização de fugas de isolamento é sempre importante, até porque quando a UPS está a trabalhar sobre baterias a proteção diferencial não protege as fugas da própria UPS e a jusante.

7.2 CONCLUSÕES DECORRENTES DO CASO DE ESTUDO

Pela análise efetuada verifica-se que um dos erros nesta instalação e que se deve evitar em futuros projetos com UPS da atual geração, em que não há separação galvânica das duas redes e em que o neutro do *bypass* vai ligar à saída do retificador em regime de terras, TT, é a colocação de proteções diferenciais por ramo. Este erro é mais grave, devido ao conflito de neutros como se verifica no diagrama da Figura 5-8, quando há UPS ligadas em paralelo. Esta foi a razão pela qual as proteções diferenciais foram desativadas.

Inferre-se, assim, a existência de um conflito de neutros em permanência na soma vetorial dos retificadores e do *bypass*. Por essa razão é que se registaram correntes tão elevadas, resultado do desequilíbrio vetorial em cada um dos ramos.

Segundo o manual do fabricante das UPS os valores máximos de corrente de fuga são inferiores a 3 mA e como se pode confirmar os valores obtidos são muito superiores, 41 mA na frequência de 5 kHz e 3,97 na frequência de 10 kHz.

Verificou-se que esta corrente é resultante das frequências elevadas geradas pela UPS no escoamento dos filtros CEM proveniente da comutação da eletrónica de potência, pelo facto de ambas UPS estarem instaladas em paralelo e os neutros estarem ligados num ponto comum na saída.

Salienta-se que não é fácil encontrar no mercado ferramentas que possibilitem fazer estas medições acima referidas garantindo total imunidade nas pinças de corrente, e permitir a observação do espectro de correntes nas diversas frequências.

Continuando com o regime de neutro TT, deveria proceder-se à colocação de um dispositivo diferencial à entrada do quadro de UPS, do tipo vigirex RH com imunidade ao ruído/corrente gerada pelos filtros de CEM das UPS, o qual permitiria a regulação em amplitude e tempo mantendo a seletividade com o resto da instalação.

As UPS estão instaladas em infra-estruturas elétricas com elétrodos de terra que apresentam valor de resistência de terra normalmente inferior a 5Ω , o que possibilita a utilização de dispositivos diferenciais com menor sensibilidade sem comprometer a segurança das pessoas.

7.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como possível desenvolvimento futuro, tendo como ponto de partida a experiência adquirida e o presente estudo, será a elaboração de um guia de projeto completo para os vários intervenientes nos sistemas socorridos, tendo como base as tecnologias das UPS e os regimes de neutro, para que seja garantida a maior disponibilidade com menores custos. Esta elaboração terá que ser feita sempre dentro do quadro normativo existente a nível nacional e internacional.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Portaria n.º 949-A/2006 - RTIEBT - Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Diário da República, 11 de setembro, 2006.
- [2] Low-voltage electrical installations - Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, IEC 60364-1, 2012.
- [3] Ewald Fuchs and Mohammad A. S. Masoum, *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines*. USA: Elsevier Academic Press, 2008.
- [4] Kurt Schipman and François Delincé. The importance of good power quality. *ABB Power Quality Products*. [Em linha]. pp. 1-20. Disponível: <https://library.e.abb.com/public/38ceb0497589318fc12577a5003d210c/Power%20quality%20improvement%20with%20LV%20capacitors%20and%20filters.pdf>. [acedido: fevereiro, 02, 2014].
- [5] Lance A. Irwin. “Real experience using power quality data to improve power distribution reliability.” Presented in the *2010 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, Bergamo, 2010. [Em linha]. Disponível: http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/fr/med/4665021/application/pdf/1249_998-4530_electric-utilities_real-experience_e.pdf. [acedido: fevereiro, 10, 2014].
- [6] Pedro Jorge Vieira Meireles, “Regimes de Neutro em Redes e Instalações de BT – Vantagens e Inconvenientes para segurança de Pessoas, Bens e para a Exploração do Sistema”, Dissertação de mestrado, FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012. [Em linha]. Disponível: http://sigarra.up.pt/feup/en/publs_pesquisa.show_publ_file?pct_gdoc_id=300592. [acedido: abril, 05, 2014].
- [7] B. Lacroix y R. Calvas. (2000, Outubro). Cuaderno Técnico nº 173 - Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo y su evolución. Schneider Electric. [Em linha]. Disponível: http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=CT-173-Z002&p_EnDocType=Cahier%20Technique&p_File_Id=682511393&p_File_Name=CT173-v3.pdf. [acedido: abril, 04, 2014].
- [8] Nuno Miguel Gonçalves de Castro Dinis Mariano, “Sistemas de Terra e Proteção Contra Descargas Atmosféricas”, Dissertação de mestrado, IPS, Instituto Politécnico Viseu, Viseu, Portugal, 2011. [Em linha]. Disponível: <http://comum.rcaap.pt/bitstream/123456789/4303/1/Sistemas%20de%20Terra.pdf> [acedido: abril, 05, 2014].
- [9] Installations électriques en basse tension, NFC 15100, 1962.

- [10] J. D. M. McDonald, *Electric Power Substations Engineering*. 3rd Ed. London: CRC Press, 2012.
- [11] Silvério Visacro Filho, *Aterramentos Elétricos*. São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- [12] H. Markiewicz and A. Klajan, *Earthing Systems: Fundamentals of calculation and design, Power Quality Application Guide*, nr. 6.3.1. Wroclaw: Copper Development Association, 2003. [Em linha]. Disponível: <http://www.cooper.org>. [acedido: outubro, 06, 2013].
- [13] H. Markiewicz, A. Klajan, *Earthing Systems: Basic Constructional Aspects, Power Quality Application Guide*, nr. 6. 5. 1. Wroclaw: Copper Development Association, 2004 [Em linha]. Disponível: <http://www.cooper.org>. [acedido: outubro, 06, 2013].
- [14] Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements, IEC 62040-3, 2011.
- [15] Neil Rasmussen, Os diferentes tipos de sistemas de UPS, Aplicação Técnica nr. 1, APC by Schneider Electric, 2010. [Em linha]. Disponível: http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TNM3Y/SADE-5TNM3Y_R7_PT.pdf?sdirect=true. [acedido: janeiro, 06, 2015].
- [16] Schneider Electric. (2009). Cahier Technique nr. 129, Schneider Electric, Grenoble, France.
- [17] Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-1: General and safety requirements for UPS used in operator access areas, IEC 62040-1-1, 2004.
- [18] Uninterruptible power systems (UPS). General and safety requirements for UPS, EN 62040-1-1, 2008.
- [19] Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-2: General and safety requirements for UPS used in restricted access locations, IEC 62040-1-2, 2002.
- [20] Uninterruptible power systems (UPS). General and safety requirements for UPS used in restricted access locations, EN 62040-1-2, 2003.
- [21] Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements, IEC 62040-3, 2012.
- [22] Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements, EN62040-3, 2012.
- [23] Diretiva 73/23/CEE: Material elétrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão, CEE, 1973.
- [24] Diretiva 93/68/CEE: Harmonização Técnica de Normalização, CEE, 1993.
- [25] The new standard for low-voltage switchgear and controlgear ASSEMBLIES, IEC 60439, 1993.

- [26] Safety of information technology equipment, IEC 60950, 1999.
- [27] Safety of information technology equipment, EN 60950, 2000.
- [28] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems, IEC 61000-2-2, 2002.
- [29] Electromagnetic compatibility (EMC). Environment. Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems, EN 61000-2-2, 2002.
- [30] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), IEC 61000-3-2, 2014.
- [31] Electromagnetic compatibility (EMC). Limits. Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), EN 61000-3-2, 2014.
- [32] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A, IEC 61000-3-4, 1998.
- [33] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A, EN 61000-3-4, 1998.
- [34] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-5: Limits - Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A, IEC 61000-3-5, 2009.
- [35] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-5: Limits - Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A, EN 61000-3-5, 2009.
- [36] Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia eléctrica, NP-EN 50160, 2010.
- [37] Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE 519, 2014.
- [38] Electrostatic Discharge Immunity Test, IEC 61000-4-2, 2012.
- [39] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test, EN 61000-4-2, 1998.
- [40] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, IEC 61000-4-3, 2006.

- [41] Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, EN 61000-4-3, 2006.
- [42] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test, IEC 61000-4-4, 2012.
- [43] Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. Electrical fast transient/burst immunity test, EN 61000-4-4, 2012.
- [44] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test, IEC 61000-4-5, 2014.
- [45] Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. Surge immunity test, EN 61000-4-5, 2014.
- [46] Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency Equipment. Electromagnetic disturbance characteristics. Limits and methods of measurement, EN 55011, 2007.
- [47] Specification for uninterruptible power systems (UPS). EMC requirements, EN 50091-2, 1996.
- [48] Diretiva 89/336/CEE: Compatibilidade Eletromagnética, 1989.
- [49] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments, IEC 61000-6-4, 2006.
- [50] Electromagnetic compatibility. Generic emission standard. Industrial environment, EN 50081-2, 1994.
- [51] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments, IEC 61000-6-2, 2005.
- [52] Electromagnetic compatibility. Generic immunity standard. Industrial environment, EN 50082-2, 1995.
- [53] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-3: Generic standards - Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments, IEC 61000-6-3, 2006.
- [54] Instrument Electromagnetic compatibility. Generic emission standard. Residential, commercial and light industry, EN 50081-1, 1992.
- [55] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-1: Generic standards - Immunity for residential, commercial and light-industrial environments, IEC 61000-6-1, 2005.
- [56] Electromagnetic compatibility. Generic immunity standard. Residential, commercial and light industry, EN 50082-1, 1998.
- [57] Quality Management Systems, ISO 9001, 2008.

- [58] Environmental management systems - Requirements with guidance for use, ISO 14001, 2004.
- [59] Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane, ISO 3746, 2010.
- [60] Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment, ISO 7779, 2010.
- [61] Noise emitted by computer and business equipment. Method of measurement of airborne noise, EN 27779, 1991.
- [62] Schneider Electric. (2013). MGE Galaxy 7000-160-500 kVA – Installation Manual, Schneider Electric, Grenoble, France.
- [63] Schneider Electric. (2015). Electrical Installation Guide, Grenoble, France.
- [64] FCC Part 15 - Regulations for low-power, transmitters, FCC, American Certification, 1996.
- [65] APC by Schneider Electric. (2012). Fatores chave nas instalações da UPS, Lisboa, Portugal.
- [66] Constantino Soares, *Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Projeto, Execução e Exploração – Origem e interpretação das RTIEBT – 1ª Edição e principais diferenças face ao “740/74”*. Lisboa: CERTIEL e DGEG, 2006.
- [67] Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents, IEC 60909-0, 2001.